

**Filtração de Água com Escoamento
Tangencial Helicoidal em Madeira da Espécie
Tabebuia cassinoides (Lam.) DC**

Laura Cecilia Müller

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens
Co-orientador: Eng. Marcelo Luiz Emmendoerfer

2013/1



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**FILTRAÇÃO DE ÁGUA COM ESCOAMENTO TANGENCIAL
HELICOIDAL EM MADEIRA DA ESPÉCIE *Tabebuia cassinoides*
(LAM.) DC**

LAURA CECILIA MÜLLER

Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para a
Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz
Sens
Co-orientador: Eng. Marcelo Luiz
Emmendoerfer

Florianópolis, SC
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Müller, Laura Cecilia

Filtração de água com escoamento tangencial helicoidal
em madeira da espécie *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC /
Laura Cecilia Müller ; orientador, Mauricio Luiz Sens ; co-
orientador, Marcelo Luiz Emmendoerfer. - Florianópolis, SC,
2013.

83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. I. Sens, Mauricio
Luiz . II. Emmendoerfer, Marcelo Luiz. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental. IV. Título.

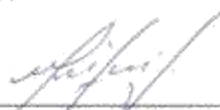
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

FILTRAÇÃO DE ÁGUA COM ESCOAMENTO TANGENCIAL HELICOIDAL EM
MADEIRA DA ESPÉCIE *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC

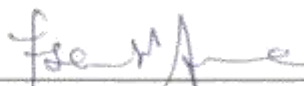
LAURA CECILIA MÜLLER

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte
dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

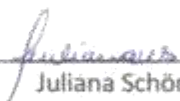
BANCA EXAMINADORA :



Prof. Dr. Maurício Luiz Sens
(Orientador)



Prof. Dr. Fernando Sant'Anna
(Membro da Banca)



Juliana Schöntag, Msc.
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/2013

Este trabalho é dedicado aos meus
queridos pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde e pela minha família.

Aos meus pais pelo apoio em todos os momentos da minha vida, além de toda a minha família que mesmo de longe sempre esteve torcendo por mim.

As minhas irmãs por me ajudarem e terem muita paciência.

Ao professor Maurício Sens e Engenheiro Marcelo Emmendoerfer, pela orientação e ajuda durante toda a pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, Professor Fernando e Juliana, pela presença e pelas contribuições para melhoria do trabalho, e pelos conselhos que serão considerados nas minhas futuras escolhas.

Aos colegas, que estiveram durante todo o período de graduação nos momentos bons e não tão bons, uns apoiando aos outros. Além, além dos que compareceram na defesa.

As queridas amigas, Alice, Camila e Karen, que estavam sempre por perto.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, assim como para minha formação.

RESUMO

Devido ao aumento da demanda por água de boa qualidade e, da poluição dos recursos hídricos, o tratamento de água utilizando elementos de filtração alternativos torna-se interessante. Percebe-se então a necessidade de pesquisar materiais de fácil construção e manutenção, visando a redução de custos desses sistemas de tratamento de água. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho da madeira da espécie *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (caixeta) na filtração de água, com escoamento tangencial helicoidal. O trabalho foi elaborado a partir de pesquisa bibliográfica, caracterizando as membranas filtrantes e mostrando suas similaridades com relação à madeira caixeta. Além disso, foi montado um sistema piloto de filtração tangencial helicoidal utilizando a caixeta como elemento filtrante. A mesma passou por processo de desinfecção e descoloração e posteriormente foram realizados os testes de filtração analisando a qualidade da água bruta e permeada. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Potabilização das Águas (LAPOÁ) da Universidade Federal de Santa Catarina, onde já foram realizados outros trabalhos, em nível de graduação (CORRÊA, 2002) e pósgraduação, este último se refere ao trabalho de EMMENDOERFER, que será publicado em 2013. Estes trabalhos mostraram que a madeira pode ser um bom elemento filtrante para uso em tratamento de água. Com a pesquisa atual foi possível confirmar que o escoamento de água pela madeira depende da espessura do elemento filtrante, e que as características da madeira influenciam diretamente na qualidade da água filtrada, visto que a madeira caixeta iniciou um processo de escurecimento após o corte, provavelmente devido ao contado com o ar. Além disso, outras pesquisas devem ser realizadas, para determinar se a solução de limpeza com diluição do hipoclorito de sódio a 10% pode ser uma opção para descolorir a madeira sem fragilizá-la. Já a solução de hipoclorito a 60% não deve ser utilizada, pois causou alta degradação da superfície filtrante. No caso deste trabalho não foi possível concluir o processo de limpeza até a remoção total da cor devido à fragilização da madeira. E mesmo que o processo fosse concluído, não é aconselhável utilizar a madeira caixeta como elemento devido à baixa qualidade do permeado além da baixa produção de água, desde o início dos ensaios.

Palavras-chave: *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC, caixeta, elemento filtrante, filtração tangencial helicoidal, tratamento de água.

ABSTRACT

Due to the increasing demand for good quality water, and also the rise in water resources pollution, water treatment using alternative filter elements becomes attractive. Therefore, it is clear the need to find materials of easily construction and maintenance in order to reduce costs of water treatment systems. This research studied the performance of the *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (caixeta) wood species in helical cross-flow water filtration. The work was done based on bibliography research, characterizing membranes and showing their similarities with caixeta wood. Furthermore, a pilot test of caixeta wood was constructed to promote the helical cross-flow filtration. The pilot was disinfected and bleached, and then filtration tests were performed analyzing the quality of raw and permeated water. The research was developed in the Water Potabilization Laboratory (LAPOÁ) of Federal University of Santa Catarina (UFSC), where other projects have been performed, in both undergraduate (CORRÊA, 2002) and postgraduate level, the latter refers to the work of EMMENDOERFER, which will be published in 2013. These studies showed that wood can be a good filter element for water treatment. This present research confirmed that the flow of water in the wood depends of the filter element thickness. In addition, the characteristics of the wood influenced directly the quality of filtered water, since the caixeta wood has begun a browning process after cutting, probably due to air contact. Furthermore, other research is required to determine if the cleaning solution with dilution of 10% sodium hypochlorite may be an option to discolor the wood without weakens it. Already, solution of 60% hypochlorite should not be used because of degradation caused high filter surface. In this research the process could not be finished until the total color removal due to the state of embrittlement in which the wood was. And even if the process of discoloration of wood was completed, it is not recommendable to use caixeta wood as a filter element due to the low quality of the permeate and the low water production since the beginning of the tests.

Keywords: *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC, caixeta, filter element, helical cross-flow filtration in wood, water treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Gerações de Membranas Filtrantes	26
Figura 2 - Características dos processos de separação por membranas.	27
Figura 3 - Filtração tangencial e frontal.....	28
Figura 4 – Defletor de aço inoxidável (esquerda) e membrana tubular que promove o fluxo helicoidal (direita)	28
Figura 5 - Sentidos de corte da madeira.....	31
Figura 6 – Anatomia do tronco de uma folhosa (corte transversal).	32
Figura 7 - Anatomia de uma conífera não pinácea (esquerda) folhosa (direita).33	
Figura 8 – Superfície da membrana de microfiltração (20000 X).....	37
Figura 9 - Superfície da madeira <i>Tabebuia cassinoides</i> (Lam.) DC (1500 X)...37	
Figura 10 – Imagens em MEV dos poros grandes (esquerda) e pequenos (direita) da madeira pinus.	38
Figura 11 – Imagens em MEV dos poros grandes (esquerda) e pequenos (direita) da madeira garapuvu	38
Figura 12 – Imagens em MEV dos poros grandes (esquerda) e pequenos (direita) da madeira caixeta.....	38
Figura 13 – Elementos filtrantes tubulares de madeira (esquerda) e para ensaios de filtração frontal (direita).....	40
Figura 14 – Relação entre espessura da parede e eficiência na filtração.....	40
Figura 15 – Filtro piloto de filtração frontal (esquerda). Amostras da madeira caixeta antes (direita - acima) e depois (direita - abaixo) da filtração.....	41
Figura 16- Remoção de cor aparente e turbidez (%) e vazão média (L/h) para as madeiras analisadas.	42
Figura 17 – Resultados de qualidade da água para filtração sem coagulação da água bruta para a madeira pinus.....	43
Figura 18 - Resultados de qualidade da água para filtração com coagulação da água bruta para a madeira pinus.....	43
Figura 19 – Sistema piloto em laboratório.	46
Figura 20 – Esquema da montagem do sistema piloto.....	47
Figura 21 – Bomba de recalque utilizada no sistema piloto.....	48
Figura 22 - Esquema do filtro piloto (esquerda) e vista superior da peça que promove o escoamento tangencial helicoidal (direita).....	49
Figura 23 – Detalhe da peça que promove a filtração tangencial helicoidal.....	50
Figura 24 – Anel de borracha e vedação com silicone.....	51
Figura 25 – Vedação interna com silicone.....	51
Figura 26 – Tronco da madeira caixeta em laboratório	52
Figura 27 – Filtro piloto com elemento filtrante de 7 cm de espessura.	52
Figura 28 – Elemento filtrante com rachadura devido à secagem em estufa	53
Figura 29 – Filtro piloto com elemento filtrante de 3,5 cm de espessura.....	54
Figura 30 – Elemento filtrante com 3,5 cm de espessura, com furos resultando em espessura 2 cm	54
Figura 31 – Fluxograma do Processo de Filtração Tangencial Helicoidal.....	56

Figura 32- PHmetro Orion (1), Espectrofotômetro Hach (2),Turbidímetro Hach (3) e Teste de STD Hach (4) em laboratório.....	57
Figura 33 – Proveta, manômetro de entrada e manômetro de saída do filtro piloto (esquerda para a direita)	58
Figura 34 – Corte das amostras para microscopia com estilete	60
Figura 35 – Amostras para realização do MEV contendo duas profundidades (0,0 cm e 0,5 cm)	60
Figura 36 – Madeira imediatamente após o corte (esquerda), oito meses após o corte (direita).	61
Figura 37 – Ensaio com elemento filtrante com 7 cm de espessura	62
Figura 38 – Ensaio com elemento filtrante de 3,5 cm de espessura.....	62
Figura 39 – Amostra de permeado na madeira de 3,5 cm de espessura contendo resíduos de serragem.	63
Figura 40 – Início do processo de filtração na madeira perfurada	63
Figura 41 – Coloração da madeira pós-limpeza com hipoclorito 10%	64
Figura 42 – Degradação da superfície filtrante da madeira (1), vista inferior do sistema piloto contendo furo (2) e fragmento de madeira descolado proveniente do furo (3).....	65
Figura 43 – Coloração da madeira pós-limpeza com hipoclorito 60%, madeira úmida (esquerda) e seca (direita)	66
Figura 44 – Vedação do furo na madeira com parafuso e silicone.	66
Figura 45 – Amostra de permeado do ensaio 1.....	69
Figura 46 - Degradação da madeira devido à ação do hipoclorito	69
Figura 47 – Amostras da superfície filtrante fragilizada, do centro (esquerda) e da periferia (direita) da madeira	70
Figura 48– Superfície filtrante, na pinus (esquerda) e caixeta (direita)	71
Figura 49– Corte a 5 mm de profundidade da superfície filtrante, na pinus com marcação dos pontos de colmatação (esquerda) e caixeta (direita).	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estratégias de limpeza para diferentes depósitos.	29
Tabela 2 – Resultados estatísticos de permeabilidade para as amostras	34
Tabela 3– Nomenclatura referente ao escoamento e ao corte da madeira.....	36
Tabela 4 – Densidade e características das amostras das madeiras estudadas ...	39
Tabela 5 – Processo de limpeza da madeira caixeta	65
Tabela 6 – Resultados das análises de qualidade da água ensaio 1 (madeira seca).....	68
Tabela 7 - Resultados das análises de qualidade da água ensaio 2 (madeira previamente úmida).	68
Tabela 8 – Peças para construção do sistema piloto de filtração tangencial helicoidal	83
Tabela 9 – Peças para construção do filtro piloto de filtração tangencial helicoidal	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	OBJETIVOS	22
1.1.1	Objetivo Geral.....	22
1.1.2	Objetivos Específicos	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	APRESENTAÇÃO	23
2.2	TRATAMENTO DE ÁGUA	23
2.2.1	Filtração Tangencial Helicoidal	24
2.3	MADEIRA	29
2.3.1	Cor da Madeira	31
2.3.2	Porosidade da Madeira.....	32
2.3.3	<i>Tabebuia cassinoides</i> (Lam.) DC	34
2.4	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)....	36
2.5	FILTRAÇÃO EM MADEIRA.....	39
3	MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1	SISTEMA PILOTO	46
3.1.1	Filtro Piloto e Elemento Filtrante	48
3.1.1.1	Preparação do Elemento Filtrante de Madeira	51
3.2	LIMPEZA E DESINFECÇÃO DA MADEIRA	55
3.3	ENSAIOS DE FILTRAÇÃO TANGENCIAL HELICOIDAL....	55
3.3.1	Equipamentos.....	57
3.3.2	Coleta de Dados.....	58
3.3.3	Determinação da Taxa de Filtração	58
3.4	MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA	59
4	RESULTADOS	61
5	DISCUSSÕES	73
6	CONCLUSÕES.....	75
7	RECOMENDAÇÕES.....	77
	REFERÊNCIAS.....	79
	APÊNDICE	83

1 INTRODUÇÃO

O fornecimento de água para abastecimento da população deve ser em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da mesma, objetivando a proteção da saúde e possibilitando o desenvolvimento econômico (FUNASA, 2006). VON SPERLING (2005) destaca que a qualidade da água requerida pela população depende do uso previsto, que necessita de mais qualidade e mais tratamento quanto mais nobre for o destino da água. Nesse contexto, a água para abastecimento doméstico deve ter alta qualidade de modo a proteger a saúde da população abastecida (FUNASA, 2006).

Em localidades mais isoladas, não é comum haver abastecimento de água para os moradores, dessa forma são instalados sistemas descentralizados ou individuais de tratamento. Ao mesmo tempo, que as soluções coletivas permitem a supervisão do sistema de abastecimento e controle da qualidade de água fornecida, os sistemas individuais são preferíveis por apresentarem maior viabilidade econômica para uso em áreas isoladas com população dispersa, acarretando melhor custo benefício (FUNASA, 2006).

Uma opção de tratamento de água são as membranas filtrantes, que vem sendo utilizadas com maior frequência pela sua facilidade de manutenção e operação. Além disso, a exigência por água de melhor qualidade vem aumentando e com isso os sistemas de membranas vêm ganhando espaço, visto que são mais compactos e eficientes comparando-se com os sistemas convencionais. Apesar das vantagens apontadas, as membranas possuem altos custos de fabricação e os processos de limpeza também são caros, por necessitarem de processos complexos para que sua porosidade seja adequada, para melhorar a eficiência na filtração. Dessa forma, a utilização das mesmas em locais isolados torna-se inviável, pois geralmente essas regiões não podem arcar com os custos destas tecnologias. (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

Nesse contexto realizou-se uma pesquisa no Laboratório de Potabilização das Águas (LAPOÁ) da Universidade Federal de Santa Catarina para verificar a possibilidade de utilização da madeira *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (caixeta) como elemento de filtração. Com isso pretendeu-se facilitar a construção e a própria manutenção do sistema de tratamento de água pelo usuário, já que a madeira é um material renovável e de fácil obtenção. Além disso, buscou-se reduzir custos para fabricação dos elementos filtrantes a fim de possibilitar seu uso também nos processos de tratamento convencionais. Essa pesquisa

foi uma continuidade das pesquisas realizadas por CORRÊA (2002) e EMMENDOERFER (não publicado).

A madeira escolhida foi a *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (caixeta), essa escolha foi feita devido aos resultados da pesquisa realizada anteriormente e que será publicada em 2013 por EMMENDOERFER (não publicado), que fez testes de filtração frontal com as espécies *Tabebuia cassinoides* (caixeta), *Pinus elliottii* (pinus) e *Schizolobium parahyba* Vell. Blake (guarapuvu). Os resultados mostraram que a caixeta e a pinus apresentaram melhoria na qualidade da água nos processos de filtração frontal, apesar da caixeta ter apresentado baixo fluxo de permeado. Desta forma, EMMENDOERFER (não publicado) realizou testes de filtração com escoamento tangencial helicoidal utilizando a pinus como elemento filtrante, e recomendou que os mesmos testes fossem feitos com a caixeta, visto que a mesma também havia demonstrado capacidade de retenção de partículas na filtração frontal.

Assim, neste trabalho atual, foi desenvolvido um sistema de tratamento de água por filtração com escoamento tangencial helicoidal, utilizando como meio filtrante a madeira da espécie *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (caixeta). Os objetivos desta pesquisa serão descritos a seguir.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Esse trabalho teve como objetivo geral avaliar o desempenho da madeira da espécie *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (caixeta) na filtração de água, com escoamento tangencial helicoidal.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar o escoamento de água pela madeira caixeta contendo, 7 cm, 3,5 cm e 2 cm de espessura;
- Estudar o processo de descoloração da madeira caixeta utilizando solução de hipoclorito de sódio;
- Estudar o desempenho da madeira caixeta na remoção de impurezas da água por processo de filtração tangencial helicoidal;
- Estudar a colmatagem da madeira caixeta decorrente do processo de filtração tangencial helicoidal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 APRESENTAÇÃO

Esta revisão bibliográfica apresentará os principais assuntos que embasaram o trabalho como um todo. Primeiramente, será apresentada uma visão geral sobre o tratamento de água, posteriormente serão abordadas as técnicas de filtração tangencial helicoidal e por fim serão apresentadas as características que permitem a utilização da madeira como meio filtrante.

2.2 TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento de água se mostra necessário para a proteção da saúde humana, e para propiciar o desenvolvimento econômico, de modo que seja possível utilizar a água em indústrias, entre outras atividades econômicas (FUNASA, 2006). A qualidade desse tratamento deve levar em consideração a atividade para a qual a água será utilizada, sendo que o uso doméstico é o que demanda maiores cuidados (VON SPERLING, 2005).

A qualidade da água a ser tratada pode ser modificada por fenômenos naturais ou pelo uso e ocupação do solo (VON SPERLING, 2005). Dessa forma mesmo que a água não sofra interferências das atividades humanas, poderá necessitar de tratamento antes de ser consumida, devido, por exemplo, ao carreamento de partículas durante seu ciclo hidrológico, resultando em turbidez ou coloração (FUNASA, 2006).

Segundo VON SPERLING (2005), a existência da turbidez na água se deve a presença de sólidos em suspensão. Quando esses sólidos são de origem natural, podem ser oriundos de partículas de rocha, argila, silte, ou de algas e microorganismos. Já a cor se deve a presença de sólidos dissolvidos, que pode ser de origem natural, devido à decomposição da matéria orgânica vegetal, ou presença de ferro e manganês. Pode ser também, de origem antropogênica, devido à presença de resíduos industriais ou esgotos domésticos. Segundo RICHTER e AZEVEDO NETTO (1991) a cor de origem natural pode ocorrer também devido à presença de ácidos húmicos e tanino, oriundos da decomposição da matéria orgânica vegetal, lembra ainda que essas substâncias não representam risco à saúde.

Os sistemas convencionais de tratamento de água “consistem em uma sequência de processos que incluem a coagulação, floculação, sedimentação (ou flotação), filtração, fluoração, cloração e correção de pH.” (ARAUJO FILHO et al., 2009). Resultando em sistemas que ocupam grandes áreas, produtos químicos e energia.

Comunidades mais isoladas não recebem água do sistema de abastecimento convencional, por questões econômicas (FUNASA, 2006). Dessa forma os moradores da zona rural utilizam a água de mananciais existentes nas suas propriedades. Segundo pesquisa realizada em propriedades leiteiras da região Nordeste do estado de São Paulo (AMARAL et al., 2003), todas as famílias entrevistadas acreditam que a água de suas propriedades possui boa qualidade. Porém, as análises realizadas posteriormente apontam que mais de 90 % das amostras das fontes de água para consumo humano se apresentaram fora do padrão microbiológico de potabilidade determinado pela Portaria 1.469 de 29/12/2001 do Ministério da Saúde.

Dessa forma, percebe-se a necessidade de utilizar um sistema simples, barato e de fácil manutenção para o tratamento de água em áreas rurais. Assim como a exigência por água com melhor qualidade vem aumentando, surge a necessidade de novas formas de tratamento tanto domiciliar como, para melhoria do sistema de tratamento convencional. Nesse contexto foi testado um sistema de filtração tangencial helicoidal para tratamento de água, similar aos sistemas de membranas, pois ocupam pequenas áreas, são eficientes e não demandam tratamentos complementares. Porém, utilizando como meio filtrante a madeira, que é de fácil obtenção, manuseio e manutenção. Além disso, é um material renovável que pode ser encontrado nas áreas rurais. É necessário, entretanto, considerar as limitações da legislação ambiental que proíbe o corte de determinadas espécies, sendo que a caixeta é apresentada pela Instrução Normativa nº 06/2008 do Ministério do Meio Ambiente (MMA), como espécies da flora brasileira com deficiência de dados o que significa que deverão ser desenvolvidos estudos visando subsidiar o MMA na definição do real status de conservação da espécie.

2.2.1 Filtração Tangencial Helicoidal

A filtração consiste na passagem da água a ser tratada por um meio poroso, ocorrendo a separação sólido-líquido através de processos físicos, podendo envolver também fenômenos químicos ou biológicos,

no caso de biofilmes, resultando na remoção de impurezas da água. Na filtração convencional são utilizados meios filtrantes granulares como: areia e antracito (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991). A principal distinção dos filtros de membrana em comparação com os convencionais é a retenção de partículas, que nas membranas ocorre na superfície e nos convencionais ocorre no interior do elemento filtrante. (DUTKA, 1981). Os filtros convencionais possuem eficiência limitada quando utilizados isoladamente, além disso, exigem processos de retrolavagem (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

Dessa forma, para tratamentos compactos e descentralizados as membranas de microfiltração são mais eficientes, visto que removem partículas, não demandam a utilização de produtos químicos (exceto para sua limpeza quando necessário), a água tratada é de boa qualidade e necessitam de pouco espaço para operação além da possibilidade de automação do sistema (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001; OLIVEIRA, 2010).

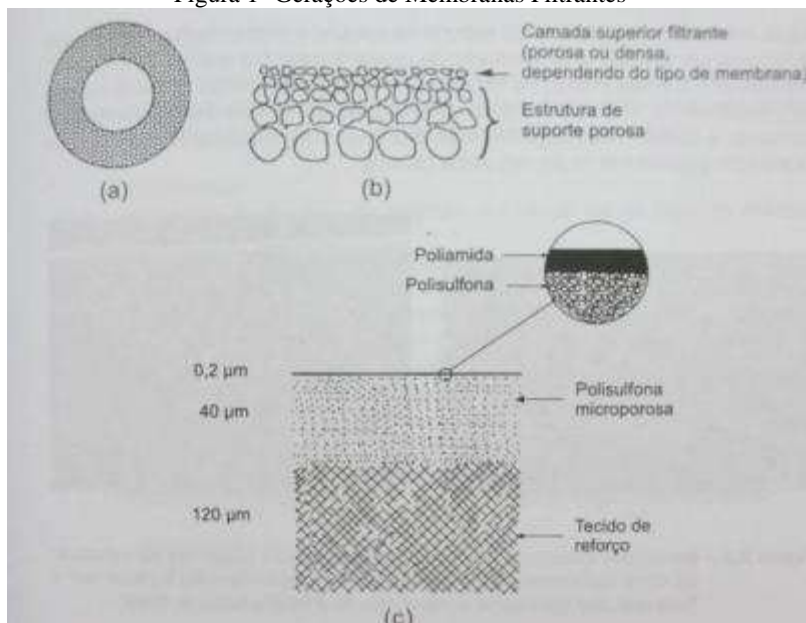
Segundo DUTKA (1981), as membranas eram utilizadas para análise bacteriológica de água para consumo antes do ano 1933 pelos russos, ou seja, as membranas serviam para cultivo de bactérias. Na Alemanha, durante a segunda guerra mundial, devido à contaminação da água, a tecnologia russa de membranas foi desenvolvida para potabilização da água para consumo. Após a segunda guerra mundial, os EUA perceberam a importância dessa técnica, devido aos rumores de uma guerra biológica, e iniciaram pesquisas baseando-se na tecnologia alemã. Na década de 60, as membranas de osmose inversa foram utilizadas para dessalinização da água do mar (ARAUJO et al., 2009).

A evolução das membranas segundo SCHNEIDER e TSUTIYA (2001), ocorreu em três gerações. A primeira possuía poros regulares que atravessavam toda a espessura do elemento filtrante, por isso, possuíam baixa produtividade, e quando submetidas a elevadas pressões entravam em colapso. Por isso, foram produzidas membranas assimétricas, segunda geração, com maior resistência mecânica, aumento de porosidade e aumento de espessura. A terceira geração inicia-se com a produção de membranas compostas, ou seja, para a superfície utiliza-se um filme fino que fica sobre uma estrutura de suporte, ambas possuindo capacidade de filtração. As membranas filtrantes são fabricadas geralmente com polímeros orgânicos, sendo que também podem ser utilizadas membranas inorgânicas, que são de alto custo.

A Figura 1 representa as três gerações de membranas filtrantes orgânicas: (a) membrana simétrica (Deshmukh & Leslie, 1999, *apud*

SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001); (b) membrana assimétrica (Aptel & Buckley, 1996, *apud* SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001); (c) membrana composta (Bradley, 1993 *apud* SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

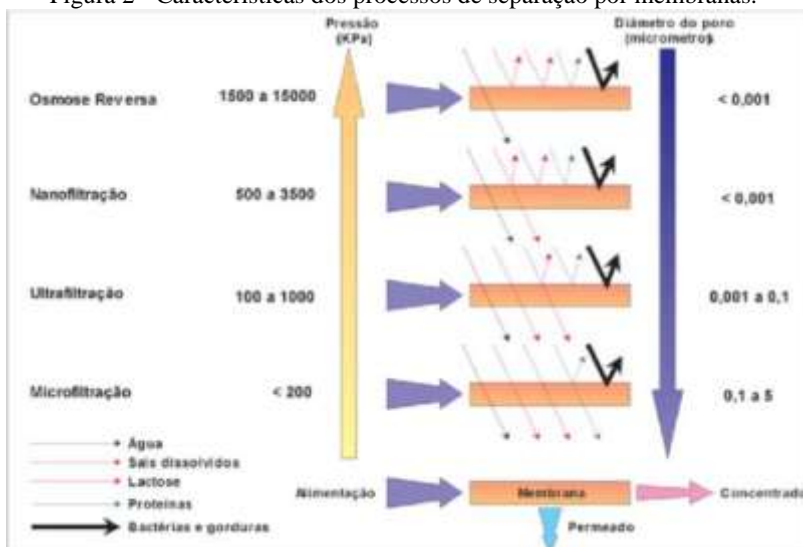
Figura 1- Gerações de Membranas Filtrantes



Fonte: SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001.

Em geral, o princípio de funcionamento das membranas baseia-se na passagem do fluido pressurizado pelo elemento filtrante que possui determinada porosidade. É a porosidade que determina o que ficará retido (partículas com diâmetro maior que o dos poros), e o que será permeado (partículas com diâmetro menor que o dos poros). Portanto, quanto menores os poros das membranas, maior a pureza da água permeada (DUTKA, 1981; SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001; BASSETTI, 2002). Com relação à porosidade, as membranas são divididas em microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa. A seguir, segue a representação das principais características das membranas citadas anteriormente (Figura 2).

Figura 2 - Características dos processos de separação por membranas.

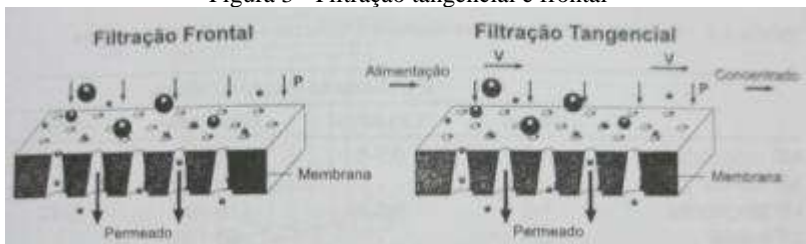


Fonte: MIERZWA, 2008.

AMARAL (2011) sugere que as membranas de microfiltração podem ser utilizadas como opção de tratamento de água já que possibilitam vazões maiores com pressões menores, e podem remover organismos como vírus e bactérias, ou seja, menor custo com energia, em comparação com os outros tipos de membranas. Porém, esse uso dependendo da atividade a qual a água se destina.

As membranas podem ser operadas em fluxo frontal ou tangencial (*cross flow*), como representado na Figura 3 a seguir. Em fluxo frontal o líquido é bombeado perpendicularmente as membranas. No tangencial o fluxo ocorre paralelamente à membrana, o que proporciona a autolimpeza da sua superfície, o efluente que carrega as impurezas da superfície da membrana é chamado concentrado, o que atravessa a superfície é chamado permeado (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001; OLIVEIRA, 2010).

Figura 3 - Filtração tangencial e frontal



Fonte: Lyonnaise des Eaux, 1999, *apud* SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001

Além dos tipos de fluxos apresentados anteriormente outro tipo de escoamento vem sendo usado e testado, o fluxo tangencial helicoidal, que é proposto em membranas tubulares. O fluxo helicoidal foi promovido nos estudos de GUPTA (1994) e AHMAD, MARIADAS e ZULKALI (2004) utilizando defletores, no interior da membrana tubular, sendo que o defletor que obteve maior eficiência foi o de 4 voltas por 50 mm. E no estudo de COSTIGAN, BELLHOUSE e PICARD (2002) as membranas tubulares foram produzidas contendo paredes internas que promovessem o fluxo helicoidal (Figura 4). Dentre as conclusões dos autores, todos perceberam aumento do fluxo de permeado através da membrana, além do aumento da carreira de filtração devido, provavelmente, a menor formação de colmatção (*fouling*).

Figura 4 – Defletor de aço inoxidável (esquerda) e membrana tubular que promove o fluxo helicoidal (direita)



Fonte: AHMAD, MARIADAS e ZULKALI, 2004 (esquerda) e COSTIGAN, BELLHOUSE e PICARD, 2002 (direita)

Além da classificação com relação ao fluxo, as membranas podem ser classificadas com relação à forma geométrica. Podem ser em forma de placas, cilindros tubulares, espirais, cilindros de fibra oca e discos rotatórios (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001)

Após um determinado período de utilização é comum ocorrer a colmatção das membranas causando perda de eficiência de filtração e redução de fluxo, devido ao aumento da perda de carga, nesses casos para manter a vazão é necessário aumentar a pressão de entrada de água. A colmatção, também chamada de torta é causada pelo acúmulo de material, na superfície da membrana (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001). Esse material pode ser removido através da limpeza da membrana. Essa remoção pode ser realizada através de determinadas estratégias de limpeza que são mais adequadas dependendo da origem da colmatção, ou seja, depósitos inorgânicos, orgânicos, partículas ou microorganismos. A Tabela 1 a seguir apresenta a relação entre o material a ser removido e a estratégia mais adequada de limpeza das membranas.

Tabela 1 - Estratégias de limpeza para diferentes depósitos.

Tipo de depósito	Estratégia de limpeza			
	Limpeza hidráulica	Cloração da alimentação	Acidificação da alimentação	Limpeza química
Inorgânico	-	-	++	++
Particulado	++	-	-	++
Microbiano	+	++	+	++
Orgânico	-	+	-	++
Nota: - sem efeito ou com conseqüências negativas; + algum controle; ++controle adequado; * em conjunto com cloração do efluente.				

Fonte: SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001.

2.3 MADEIRA

A madeira é um produto do caule das árvores, por essa razão é necessário estudar sua estrutura e suas características, visto que essas propriedades influenciam em sua porosidade, permeabilidade, comportamento em diferentes condições de temperatura, entre outros (KLOCK et al., 2005).

As árvores ou vegetais superiores ou, ainda, fanerógamas se dividem em gimnospermas e angiospermas. As gimnospermas são

compostas pelas coníferas. No Brasil existem duas famílias nativas: Podocarpaceae e Araucariaceae. Já as angiospermas também chamadas de folhosas, são mais complexas e organizadas e podem ser divididas em monocotiledôneas e dicotiledôneas, que compõem a maior parte das árvores brasileiras (GONZAGA, 2006).

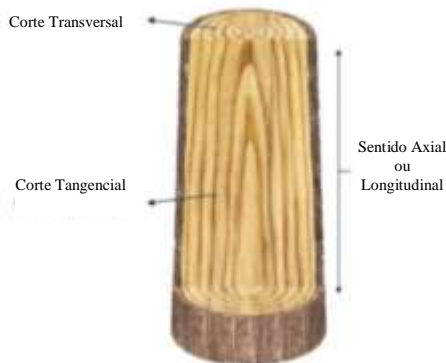
A estrutura das coníferas é basicamente composta por traqueóides e traqueídes axiais, além disso, existem canais no sentido radial, chamados de pontoações, que interligam os traqueídeos, e são responsáveis pelo transporte e armazenamento de substâncias (KLOCK et al., 2005; GONZAGA, 2006).

Já as folhosas apresentam o tecido básico composto por fibras libriformes e fibro-traqueóides onde se distribuem vasos condutores que tem como função a distribuição da seiva bruta por toda a árvore. O tronco das folhosas é também composto, por fibras que tem como função o suporte e a estrutura do tronco. Estes canais podem também conter diversas substâncias, entre elas as resinas que podem ser gorduras, ceras e esteróides (KLOCK et al., 2005; GONZAGA, 2006). Estas resinas poderão causar a obstrução dos poros, o que pode interferir no fluxo de permeado nos testes de filtração, ou seja, quanto maior a obstrução dos poros menor o fluxo de água.

As madeiras são compostas basicamente por celulose, hemicelulose e lignina, porém existem outras substâncias que podem fazer parte da composição química das madeiras, como: substâncias poliméricas secundárias e substâncias de baixo peso molecular, que podem ser responsáveis por gosto, cheiro e cor (KLOCK et al., 2005), a presença destas substâncias depende da espécie da madeira em questão.

A madeira pode ser um material problemático devido a sua anisotropia, que pode causar deformações ao perder ou ganhar umidade e rachaduras ao secar, se comportando diferentemente conforme a direção analisada. Além disso, por ser um material orgânico e degradável pode ser atacado por bactérias, insetos e fungos, entre outros. Desta forma, devem ser tomadas precauções contra chuva e raios solares, é importante também facilitar a secagem da madeira. Esta secagem pode causar deformações, que são maiores, quando o corte é realizado no sentido longitudinal tangencial aos anéis, médias, quando o corte é feito no sentido transversal, e desprezíveis no sentido radial longitudinal. Os sentidos de corte podem ser melhor compreendidos observando a Figura 5 a seguir. (GONZAGA, 2006).

Figura 5 - Sentidos de corte da madeira.



Fonte: GONZAGA, 2006

A escolha da madeira como meio filtrante surgiu da possibilidade de utilizar um elemento renovável e de fácil obtenção em localidades isoladas. Nestes locais onde a água dos cursos hídricos geralmente já é utilizada para consumo humano, o uso de elementos filtrantes de madeira poderia resultar em um sistema de tratamento de água de baixo custo, visto que não seria necessário, neste caso, tratamentos preliminares, sendo utilizado apenas como um tratamento para melhoria da qualidade da água. Desta forma, o uso de filtros de madeira redução de custos na fabricação das membranas e facilitaria a sua manutenção, sendo que elementos de madeira podem ser construídos pelos próprios usuários dos filtros.

2.3.1 Cor da Madeira

A cor na madeira tem origem na composição química das células. A principal importância da cor na prática está ligada ao valor econômico da madeira. Além da composição química, outro elemento que pode originar variações na cor, é o teor de umidade, além disso, a madeira pode se tornar mais escura, em contato com ar devido à oxidação das substâncias que a compõem. (MORESCHI, 2005).

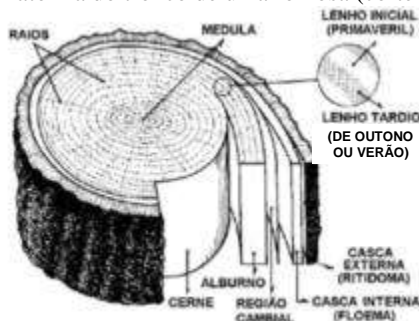
A definição da cor da madeira deve ocorrer logo após o corte, visto que a luz e o ar podem interferir nesta coloração (ZENID e CECCANTINI, 2007).

A descoloração da madeira é realizada geralmente para fins decorativos, esta descoloração pode ser feita com aplicação de ácido oxálico ou solução de peróxido de hidrogênio (OLIVEIRA, 2008).

2.3.2 Porosidade da Madeira

O tronco das árvores é composto por anéis de crescimento, que podem contribuir para determinação da idade da árvore, desde que a mesma tenha crescido em clima temperado, ou seja, com estações bem definidas. Os anéis de crescimento são compostos pelo lenho inicial, correspondente ao crescimento na primavera, e lenho tardio, que corresponde ao crescimento no outono. O lenho inicial é caracterizado por células de paredes finas e por vasos de diâmetros grandes, que tem objetivo de condução da seiva e possuem coloração mais clara. O lenho tardio é caracterizado por células de parede mais grossa e vasos com diâmetros menores, desta forma, esta estrutura da sustentação a árvore e possui coloração mais escura (BRISOLARI, 2008). A Figura 6 apresenta alguns dos componentes citados anteriormente.

Figura 6 – Anatomia do tronco de uma folhosa (corte transversal).



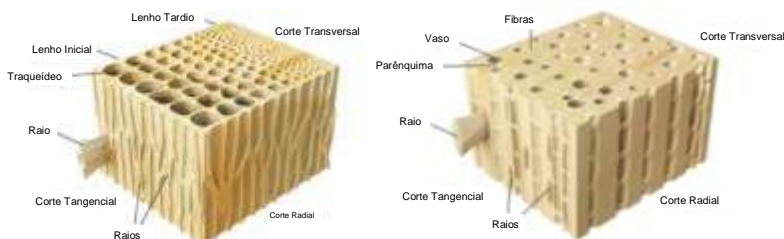
Fonte: BRISOLARI, 2008

Segundo DIAS et al. (2006), diversas variáveis podem interferir na estrutura da madeira, assim como, na densidade e na porosidade. Algumas dessas variáveis são: composição do solo, espaçamento entre as árvores, desbaste e idade de corte da madeira.

No caso da filtração em madeira todos estes vasos compõem a porosidade do elemento filtrante, ou seja, ao efetuar um corte transversal na madeira os vasos são vistos como poros, esses poros serão os responsáveis pela passagem da água. Além disso, o diâmetro dos poros determinará as partículas que ficarão retidas e o que permeará.

As características apresentadas anteriormente refletem na porosidade da madeira, no diâmetro dos poros e na organização dos mesmos. Cada uma pode apresentar determinada distribuição de poros, ou seja, podem apresentar mudanças abruptas de porosidade entre um lenho e outro ou suaves, ou ainda, não apresentar variação, como pode ser percebido na Figura 7 (KLOCK et al., 2005; ZENID e CECCANTINI 2007).

Figura 7 - Anatomia de uma conífera não pinácea (esquerda) folhosa (direita).



Fonte: Adaptado de GONZAGA, 2006

A porosidade está relacionada com o volume de vazios da madeira, e pode ser considerada, o inverso da densidade (BRISOLARI, 2008).

A densidade aparente da madeira é a razão entre o peso total e o volume de um determinado bloco, é chamada aparente devido ao fato de a umidade não ser descontada do peso da madeira (BRISOLARI, 2008). A densidade pode, na maioria das vezes, indicar a resistência e qualidade da madeira, quanto maior a densidade mais resistente será a madeira. Isso devido ao fato de o cerne, elemento de resistência da madeira, ser mais denso que o alburno, elemento poroso da madeira (MORESCHI 2005; GONZAGA, 2006). Desta forma pode se concluir que em geral madeiras menos densas são mais porosas.

A permeabilidade da madeira representa a facilidade com que um fluido tem para passar pelos seus poros (BRISOLARI, 2008).

Quanto à permeabilidade da madeira, SILVA (2007) realizou uma pesquisa para verificar-la nas espécies:

- *Eucalyptus citriodora*, no alburno, em sentido longitudinal (CAL);
- *Eucalyptus grandis*, no alburno (GAL) e no cerne (GCL), em sentido longitudinal;

- *Pinus elliottii*, em sentido longitudinal (PL) e transversal (PT).

Na Tabela 2 a seguir constam os resultados obtidos nos ensaios realizados por SILVA, 2007.

Tabela 2 – Resultados estatísticos de permeabilidade para as amostras

Amostras	Água Destilada		
	M	S	CV
CAL	346,86	66,89	19,28
GAL	470,57	121,89	25,90
GCL	0,42	0,257	61,14
PL	5,46	2,54	46,59
PT	**	**	**
**significa amostras que não apresentaram fluxo. M: Média S: Desvio Padrão CV: Coeficiente de variação			

Fonte: Adaptado de SILVA, 2007.

Desta forma, SILVA (2007) comprova que a madeira permite fluxo entre suas células. Além disso, percebe que as madeiras pertencentes ao grupo das folhosas (*Eucalyptus sp.*) possuem fluxo considerável pelo albúrneo e baixo no cerne. Já a conífera (*Pinus sp.*) não apresentou fluxo no sentido transversal, ou seja, as pontoações não contribuem, para o escoamento.

2.3.3 *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC

A madeira da espécie *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC pertence à família das Bignoniaceae (KUNIYOSHI, 1993). No Brasil, pode ser encontrada em terrenos alagadiços do litoral entre Espírito Santo e Santa Catarina (MAINIERI e CHIMELO, 1989; KUNIYOSHI, 1993)

Segundo o sistema de CRONQUIST (1981) *apud* KUNIYOSHI (1993) a classificação taxonômica da madeira caixeta é a seguinte:

- Reino: Vegetal
- Divisão: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Subclasse: Asteridae
- Ordem: Scrophulariales
- Família: Bignoniaceae Jussieu, 1789

- Tribo: Tecomeae Endl.
- Subtribo: Tecomineae Bur. Et Schum.
- Espécie: *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC

A caixeta é caracterizada por ser leve, pouco porosa, possuir baixa densidade, o que, no caso desta pesquisa, resultaria em maior retenção de partículas. Além disso, seu tronco possui coloração branca levemente rosada, não há diferenciação entre cerne e albarno e possui pouco óleo-resina que também é de cor clara. Devido a suas características anatômicas, pode se concluir que possui boa permeabilidade a soluções preservantes (MAINIERI e CHIMELO, 1989). Estas características indicam que a princípio a madeira caixeta pode ser um bom elemento filtrante.

Algumas propriedades da espécie *T. cassinoides* são apresentadas por MAINIERI e CHIMELO (1989):

- Massa específica aparente (Densidade) a 15% de umidade (g/cm^3) 0,39 → Muito leve
- Contrações (%) (até 0% de umidade):
 - Radial: 3,3 → Baixa
 - Tangencial: 5,9 → Baixa
 - Volumétrica: 10,0 → Baixa

Segundo a Instrução Normativa nº 06, de 23 de setembro de 2008, a madeira *Tabebuia cassinoides* (Lam) DC, consta no Anexo II da mesma que apresenta a Lista de Espécies da Flora Brasileira com Deficiência de Dados, nos termos do disposto no artigo 6º da mesma Instrução Normativa, conforme segue.

Art. 6º Para as espécies com deficiência de dados constantes do Anexo II a esta Instrução Normativa deverão ser desenvolvidos estudos visando subsidiar o Ministério do Meio Ambiente na definição do real status de conservação de cada espécie. (...)

§ 3º Às espécies constantes do anexo II não se aplica o disposto no art. 4º desta Instrução Normativa.

Por sua vez o artigo 4º referido no § 3º do Art. 6º estabelece que:

Art. 4º As espécies consideradas ameaçadas de extinção constantes do Anexo I a esta Instrução Normativa estão sujeitas às restrições previstas na legislação em vigor e sua coleta, para quaisquer fins, será efetuada apenas mediante autorização do órgão ambiental competente.

A seguir é apresentado um quadro importante para fixar a nomenclatura que será utilizada neste trabalho, visto que, dependendo da finalidade (tratamento de água ou descrição da madeira), utiliza-se uma referência. Neste trabalho a nomenclatura utilizada será do escoamento em relação às fibras da madeira, como segue em resumo na Tabela 3.

Tabela 3– Nomenclatura referente ao escoamento e ao corte da madeira.

Escoamento para Filtração (relacionado às fibras)	Anatomia em madeira (relacionada ao corte)
Paralelo as fibras	Seção transversal ao tronco
Transversal ou Perpendicular as fibras	Seção tangencial ou Longitudinal ao tronco
Finalidade: Tratamento de água	Finalidade: Biologia, descrição da madeira.

2.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

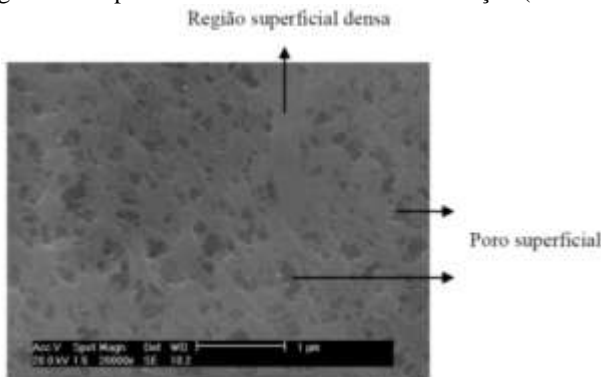
A microscopia eletrônica foi utilizada por BASSETTI (2002), AMARAL (2011) e CARRERA (2008) para diferentes objetivos. Os dois primeiros observaram membranas de filtração e o segundo observou amostras de tronco da espécie *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC. Percebe-se desta forma a importância deste método para caracterização e visualização dos mais diversos objetos.

O princípio de funcionamento do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) se dá através do bombardeamento da amostra com feixe de elétrons que farão uma varredura na superfície do mesmo, causando emissão de radiação pela amostra. Essa radiação será captada pelo computador que irá, traduzir e apresentar a imagem na tela, que poderá ser salva e posteriormente analisada (BASSETTI, 2002; AMARAL, 2011).

Para realização da microscopia eletrônica é necessário realizar o corte da amostra, a secagem e o recobrimento com ouro, para que a mesma conduza eletricidade (BASSETTI, 2002; AMARAL, 2011).

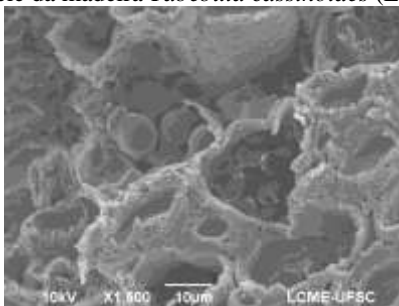
A seguir são apresentadas algumas imagens obtidas por MEV, realizadas por AMARAL (2011) (Figura 8) e EMMENDOERFER (não publicado) (Figura 9), respectivamente.

Figura 8 – Superfície da membrana de microfiltração (20000 X).



Fonte: AMARAL, 2011.

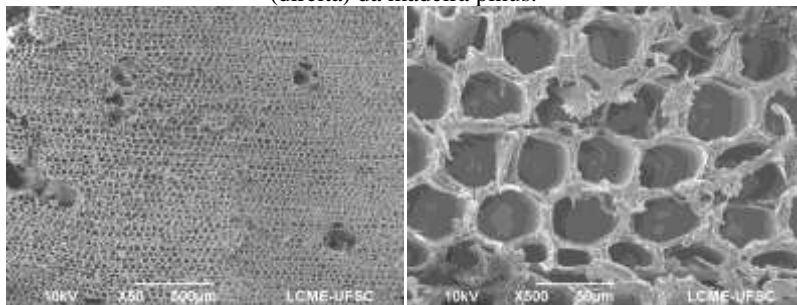
Figura 9 - Superfície da madeira *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (1500 X).



Fonte: LCME – UFSC por EMMENDOERFER (não publicado).

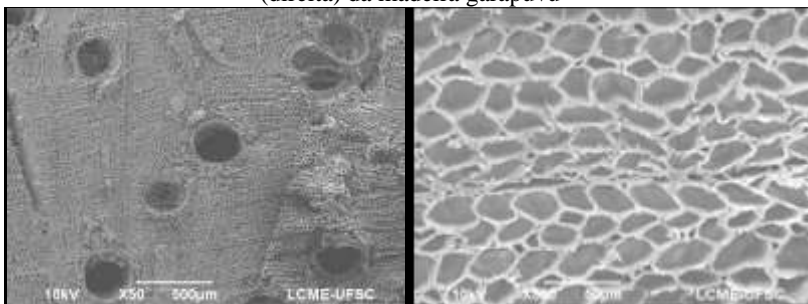
Para observação dos poros das madeiras estudadas por EMMENDOERFER (não publicado), também foram realizadas imagens em MEV (ver Figura 10, Figura 11 e Figura 12), que foram divididas em áreas, possibilitando a contagem dos poros e a determinação dos seus diâmetros. Utilizando o software ImageJ, foi inserida como entrada a escala da imagem e com a ferramenta de medição foi possível determinar o diâmetro dos poros, como resultado o programa criou uma planilha contendo a dimensão real dos poros medidos, a partir desta planilha os dados foram tratados, obtendo-se o diâmetro médio dos poros, a porosidade, e a densidade de poros de cada amostra.

Figura 10 – Imagens em MEV dos poros grandes (esquerda) e pequenos (direita) da madeira pinus.



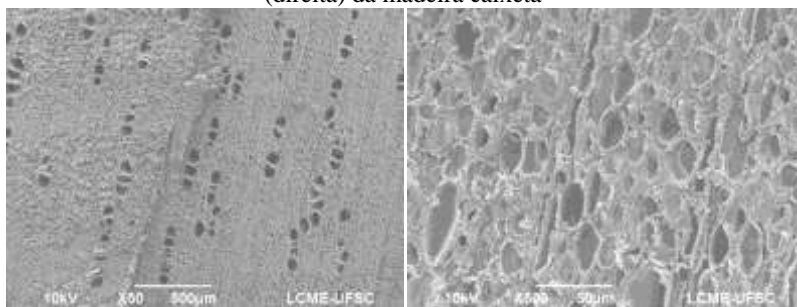
Fonte: EMMENDOERFER (não publicado).

Figura 11 – Imagens em MEV dos poros grandes (esquerda) e pequenos (direita) da madeira garapuvu



Fonte: EMMENDOERFER (não publicado).

Figura 12 – Imagens em MEV dos poros grandes (esquerda) e pequenos (direita) da madeira caixeta



Fonte: EMMENDOERFER (não publicado).

No caso da madeira pinus, os poros grandes foram desconsiderados, visto que, eram em pequeno número e diâmetro. Os poros grandes foram avaliados através da ampliação, ou seja, quando era possível observar e medir os poros em uma ampliação menor (X50) os poros eram considerados grandes, quando era necessário medir os poros com uma ampliação maior (X500) os poros eram considerados pequenos. Os resultados obtidos por EMMENDOERFER (não publicado) são apresentados na Tabela 4. Além das características dos poros, foi determinada a densidade aparente das madeiras a partir do volume e peso aparente das amostras.

Tabela 4 – Densidade e características das amostras das madeiras estudadas

		Poro Pequeno	Poro Grande
Pinus	Diâmetro médio (mm)	0,026	-
	Porosidade (%)	41,81	-
	Densidade de poros (poro/mm ²)	784	-
	Densidade aparente da amostra (g/cm ³)	0,47	
Garapuvu	Diâmetro médio (mm)	0,018	0,259
	Porosidade (%)	65,15	
	Densidade de poros (poro/mm ²)	1935	2
	Densidade aparente da amostra (g/cm ³)	0,31	
Caixeta	Diâmetro médio (mm)	0,013	0,062
	Porosidade (%)	30,80	
	Densidade de poros (poro/mm ²)	6803	228
	Densidade aparente da amostra (g/cm ³)	0,61	

Fonte: Adaptado de EMMENDOERFER (não publicado).

2.5 FILTRAÇÃO EM MADEIRA

CORRÊA (2002) realizou filtração com membranas de madeira, sendo que para os testes foram construídas membranas planas para filtração frontal e tubulares para filtração tangencial com diferentes espessuras (1 cm, 2cm e 3cm) (Figura 13).

CORRÊA (2002) construiu membranas de filtração frontal (Figura 13) de modo que água deveria passar no sentido perpendicular as fibras, desta maneira não ocorreu filtração e aconselhou se que as membranas deveriam ser construídas de modo que o fluxo fosse paralelo as fibras.

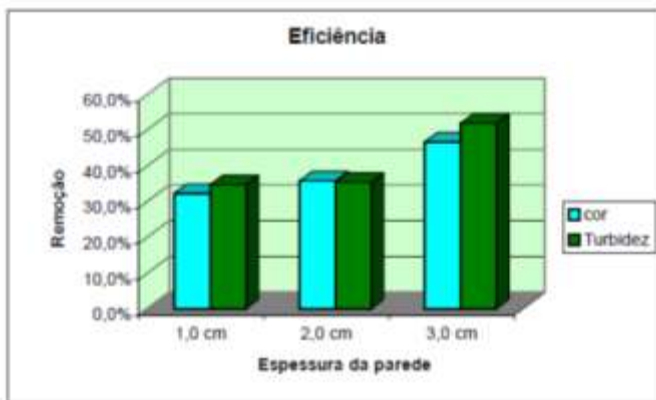
Figura 13 – Elementos filtrantes tubulares de madeira (esquerda) e para ensaios de filtração frontal (direita)



Fonte: CORRÊA, 2002

Para filtração tangencial foram realizadas análises de cor e turbidez da água filtrada. Foram obtidos bons resultados de qualidade da água filtrada, sendo que a membrana tubular mais eficiente foi a mais espessa com 3 cm (CORRÊA, 2002), os resultados podem ser observados na Figura 14 a seguir.

Figura 14 – Relação entre espessura da parede e eficiência na filtração



Fonte: CORRÊA, 2002

Além disso, EMMENDOERFER (não publicado) testou a filtração frontal com fluxo paralelo às fibras, como recomendado por CORRÊA (2002), obtendo bons valores para fluxo e qualidade de água. Ou seja, para filtração em madeira o fluxo deve ser pressurizado no sentido das fibras para melhor funcionamento do sistema.

EMMENDOERFER (não publicado) realizou testes de filtração frontal utilizando as madeiras caixeta (*Tabebuia cassinoides* Lam. DC.), pinus (*Pinus elliottii*) e guarapuvu (*Schizolobium parahyba* Vell. Blake).

Os resultados obtidos com relação à qualidade da água para a guarapuvu não foram bons. Analisando imagens de MEV, foi possível perceber que os seus poros possuem diâmetros visivelmente grandes, quando comparados com os das outras amostras em mesma ampliação, isso pode explicar o motivo pelo qual a madeira não foi eficiente na filtração, assim o permeado possuía característica de qualidade da água muito parecida com a qualidade da água bruta. Com isso percebe-se que é importante verificar as dimensões dos poros antes da escolha da madeira.

A água bruta utilizada nos ensaios de filtração frontal foi coagulada, causando aglomeração de partículas e consequentemente maior retenção e melhor qualidade da água filtrada. A Figura 15, apresenta o sistema piloto de filtração frontal cedido pelo laboratório de reuso de água – LARA e adaptado pelo laboratório de potabilização das águas – LAPOÁ. Na mesma figura se pode perceber que a madeira caixeta reteve as partículas de argila em sua superfície. A filtração era realizada pela passagem de 220 ml de água bruta pelo elemento filtrante.

Figura 15 – Filtro piloto de filtração frontal (esquerda). Amostras da madeira caixeta antes (direita - acima) e depois (direita - abaixo) da filtração.

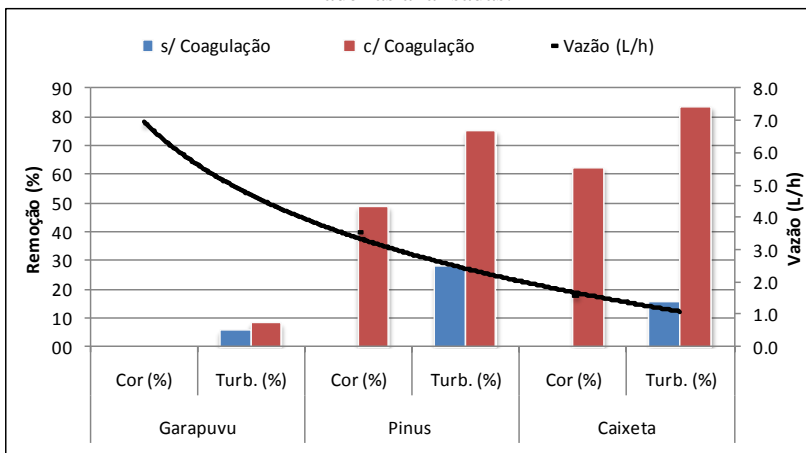


Fonte: Adaptado de EMMENDOERFER (não publicado).

Observando a Figura 16 podemos perceber que a caixeta e a pinus obtiveram bons resultados de qualidade da água, porém a caixeta obteve vazão menor, desta forma EMMENDOERFER (não publicado) optou por realizar ensaios de filtração com escoamento tangencial helicoidal na madeira pinus, devido ao fato de a mesma não necessitar de altas

pressões para manter uma vazão satisfatória. Nos ensaios sem coagulação, nos procedimentos de filtração frontal, não houve remoção de cor para nenhuma das madeiras. Para a garapuvu, no ensaio com coagulação também não houve remoção de cor.

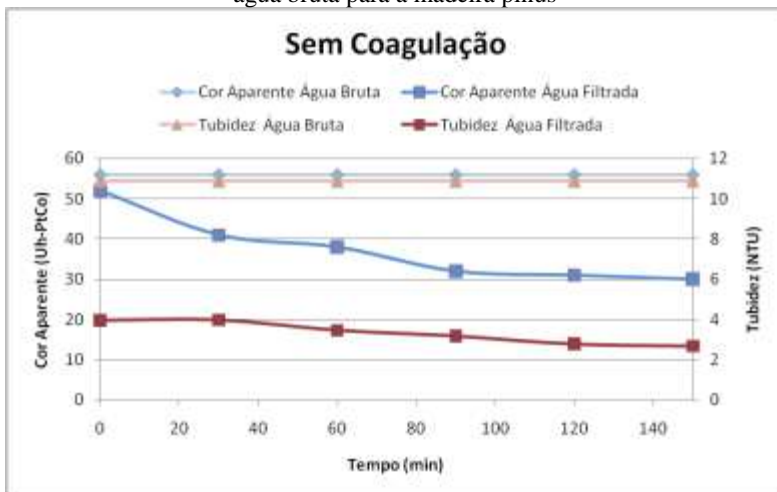
Figura 16- Remoção de cor aparente e turbidez (%) e vazão média (L/h) para as madeiras analisadas.



Fonte: EMMENDOERFER (não publicado).

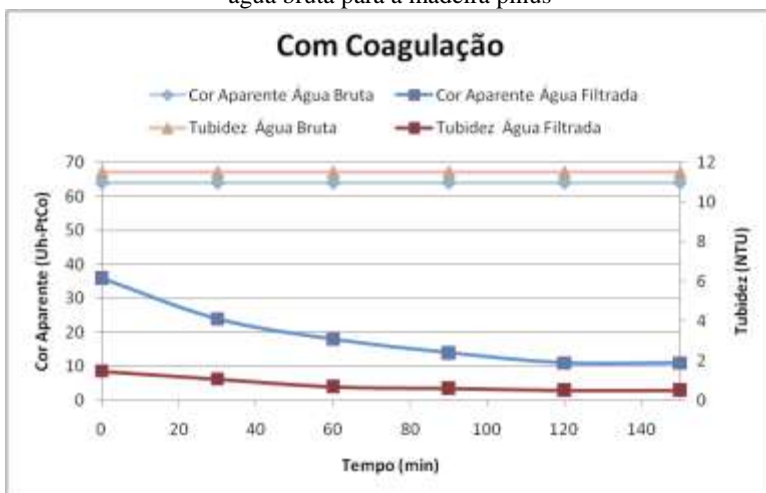
Já que a pesquisa de EMMENDOERFER (não publicado) estudou apenas a possibilidade de uso da madeira pinus como elemento filtrante na filtração tangencial helicoidal, tornou-se interessante testar também a madeira caixeta, já que a pinus obteve excelentes resultados de qualidade de água também para a filtração tangencial helicoidal como pode ser observado nas Figura 17 e Figura 18 a seguir. Assim realizou-se a pesquisa atual de modo a determinar se a caixeta também era capaz de tratar água.

Figura 17 – Resultados de qualidade da água para filtração sem coagulação da água bruta para a madeira pinus



Fonte: EMMENDOERFER (não publicado).

Figura 18 - Resultados de qualidade da água para filtração com coagulação da água bruta para a madeira pinus



Fonte: EMMENDOERFER (não publicado).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho foi, em parte, continuidade de trabalho anterior, que se trata da primeira etapa da dissertação de mestrado de EMMENDOERFER (não publicado).

A metodologia utilizada nesta primeira etapa buscou selecionar uma espécie de madeira que pudesse promover bons resultados na filtração frontal e por sua vez, possibilitar também a realização de ensaios de filtração tangencial helicoidal.

Como na dissertação supracitada utilizou-se a madeira pinus para testes de filtração tangencial helicoidal, neste trabalho atual, optou-se por utilizar a madeira caixeta, por ter apresentado bons resultados mesmo que a produção de água tenha sido menor que a pinus.

Com isso, este trabalho avaliou o desempenho da madeira da espécie *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC na filtração de água, com escoamento tangencial helicoidal.

Para chegar aos objetivos pretendidos neste trabalho, foram realizados os seguintes procedimentos:

- Construção do sistema piloto, de modo a verificar o escoamento de água pela madeira;
- Limpeza e desinfecção da madeira utilizando cloro;
- Ensaios de filtração tangencial helicoidal, avaliando a qualidade da água bruta e tratada;
- Microscopia eletrônica de varredura para verificar a colmatação da madeira.

Os ensaios referentes a este trabalho, assim como a confecção do sistema piloto e obtenção da água bruta, foram realizados no Laboratório de Potabilização das Águas (LAPOÁ) da Universidade Federal de Santa Catarina.

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizada no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME), localizado também nas dependências da Universidade Federal de Santa Catarina.

Visto que a pesquisa foi uma continuidade da pesquisa de filtração tangencial helicoidal de EMMENDOERFER (não publicado) e como a metodologia foi similar, utilizou-se o mesmo sistema piloto, com algumas adaptações, que será apresentado a seguir.

3.1 SISTEMA PILOTO

Para facilitar o entendimento da pesquisa, será fixada nomenclatura para as partes do sistema piloto construído. O sistema piloto se refere a todos os componentes do sistema de filtração. O equipamento criado para acoplar a madeira e realizar a filtração com escoamento tangencial helicoidal será chamado de filtro piloto. E a madeira utilizada para os testes de filtração poderá ser chamada de elemento filtrante. A seguir serão apresentados todos os componentes citados anteriormente e o funcionamento dos mesmos.

O sistema piloto se refere ao filtro piloto, aos equipamentos responsáveis pela entrada de água bruta, circulação e coleta de água filtrada, além da bomba e dos equipamentos de medição de pressão. A seguir são apresentadas, fotos do sistema piloto montado em laboratório (Figura 19), seus componentes, e posteriormente imagem esquemática do mesmo (Figura 20).

Figura 19 – Sistema piloto em laboratório.



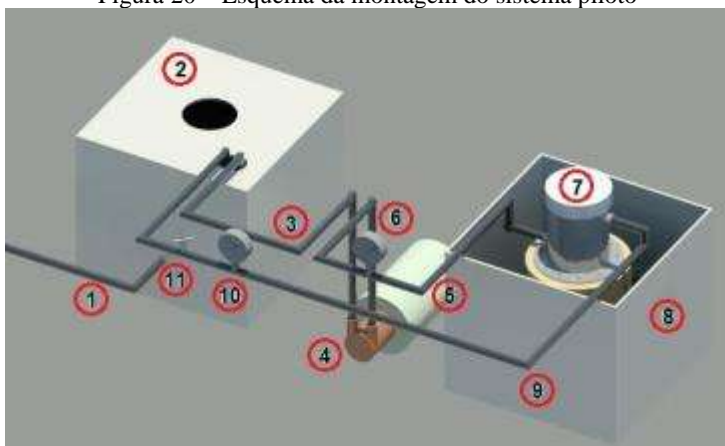
Fonte: EMMENDOERFER (não publicado)

Descrição dos dispositivos que compõem o sistema piloto, conforme apresentado na Figura 20:

- (1) Entrada de água da torneira (abastecimento público) a ser utilizada como água bruta, ou na fabricação da água preparada com argila;
- (2) Caixa d'água de água bruta;
- (3) Tubulação de sucção de 10 mm de diâmetro;
- (4) Bomba de recalque de $\frac{1}{4}$ CV com rotor em carbono e revestimento em teflon (Figura 21);
- (5) Tubulação de recalque de 10 mm de diâmetro;

- (6) Manômetro de entrada;
- (7) Filtro Piloto (ver detalhe na Figura 22);
- (8) Caixa d'água para coleta da água tratada;
- (9) Tubulação de retorno/circulação de água bruta;
- (10) Manômetro de saída;
- (11) Registro de agulha para controle da vazão e pressão do sistema.

Figura 20 – Esquema da montagem do sistema piloto



Fonte: Adaptado de EMMENDOERFER (não publicado)

O início do funcionamento do sistema piloto se dá através do enchimento da caixa d'água de água bruta (item 2) para em seguida promover o bombeamento (item 4) da água a ser tratada para dentro do filtro piloto (item 7 – ver detalhe Figura 22).

Antes da entrada da água no filtro piloto, foi instalado um manômetro (item 6) para registrar a pressão de entrada. Da porção de água que entra no filtro piloto, grande parte volta para circulação, o concentrado (item 9), e uma pequena parte deverá passar através do elemento filtrante de madeira (nomeado como permeado), que será coletado na caixa d'água de água filtrada (item 8).

A água que retorna para a caixa d'água de água bruta (item 2) se mistura com a porção que ainda não passou através da madeira, concentrando as substâncias solúveis e/ou dissolvidas na água bruta. Na tubulação que retorna para a caixa d'água de água bruta (item 9), foi instalado outro manômetro (item 10) para medir a pressão de saída e

com isso possibilitar o cálculo da perda de carga no sistema em funcionamento.

Para promover a passagem da água através da madeira, foi instalado um registro do tipo agulha (item 11) após o segundo manômetro, antes de chegar à caixa de água bruta. Com a regulação do mesmo, foi possível restringir a passagem de circulação, forçando a passagem de água pela madeira. Para promover o limite máximo de escoamento da água bruta através da madeira, o registro foi fechado até o momento que a bomba (item 4) parasse de funcionar, devido à perda de carga exercida pelo fechamento do registro ser maior que a energia produzida pela bomba. Desta forma, optou-se em deixar a posição do registro um pouco mais aberto, evitando a paralisação ou desligamento da mesma, resultando em uma pressão de 60 psi na entrada do elemento filtrante, e 50 psi na saída.

Por outro lado, a bomba utilizada, mesmo tendo $\frac{1}{4}$ CV (1225/1425 RPM), mostrou-se suficiente para a realização dos ensaios. Para acionamento da bomba foi instalado um interruptor na mesma, conforme observado na Figura 21 a seguir.

Figura 21 – Bomba de recalque utilizada no sistema piloto



Para realizar a vedação de todas as conexões roscáveis existentes no sistema piloto utilizou-se fita teflon e anéis de borracha.

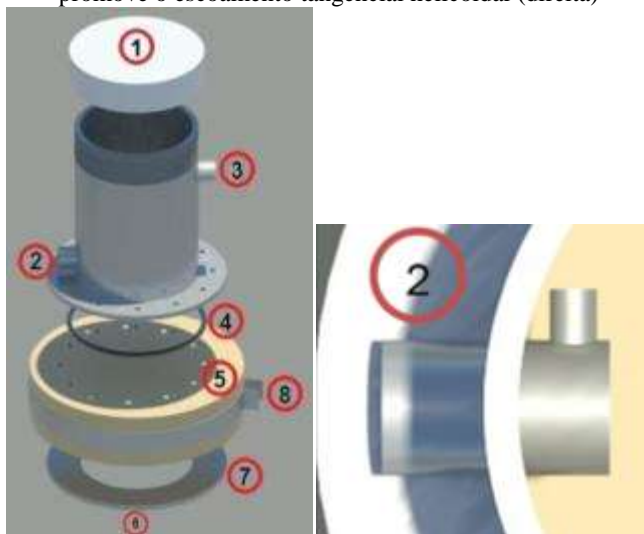
3.1.1 Filtro Piloto e Elemento Filtrante

O filtro piloto foi construído com a finalidade de possibilitar a fixação da madeira no mesmo de modo a evitar vazamentos e possibilitar a passagem da água apenas pela madeira ou pelas mangueiras.

Descrição dos componentes do filtro piloto, conforme Figura 22:

- (1) Tampa roscável para inspeção do filtro piloto;
- (2) Entrada de água bruta com conexão para promover o escoamento tangencial helicoidal;
- (3) Saída de água bruta – retorno;
- (4) Anel de borracha para vedação do elemento filtrante de madeira;
- (5) Elemento filtrante de madeira;
- (6) Saída de água tratada;
- (7) Anel de metal para fixação do elemento filtrante no piloto;
- (8) Cinta metálica perfurada para evitar deformação e trinca no elemento filtrante.

Figura 22 - Esquema do filtro piloto (esquerda) e vista superior da peça que promove o escoamento tangencial helicoidal (direita)



A água pressurizada entra no filtro piloto através da tubulação que esta conectada a peça (item 2 na Figura 22), que promove o escoamento tangencial helicoidal. Isso ocorre, devido ao caminho do fluxo, que ocorria tangencialmente a madeira e ao corpo do filtro piloto, e subia em forma de helicóide com giro no sentido horário até a saída do concentrado na parte superior do filtro piloto a aproximadamente 13 centímetros da entrada. Essa peça possui um Joelho com redução brusca de diâmetro (Figura 22 e Figura 23), que além de promover o

escoamento helicoidal proporciona a limpeza do elemento filtrante, devido a um jato circular, que provocava o desprendimento do material aderido à superfície da madeira, podendo aumentar sua vida útil e consequentemente a carreira de filtração.

Figura 23 – Detalhe da peça que promove a filtração tangencial helicoidal



Fonte: EMMENDOERFER (não publicado)

Como descrito anteriormente, existem duas porções de água: o concentrado e o permeado. O concentrado sairá pela peça localizada na parte superior do filtro piloto (item 3), levando as impurezas que não ficaram aderidas à superfície da madeira. Já o permeado, é a porção de água que passou através da madeira, que gotejava e era coletada em uma caixa de água tratada.

Devido ao controle de pressão entre a tubulação de entrada e de saída, exercido pelo fechamento ou abertura do registro agulha, ocorreu o escoamento de água pelo elemento filtrante. A passagem de água através da madeira depende de vários fatores, são eles: pressão exercida no sistema, espessura do elemento filtrante, densidade da madeira utilizada e características dos poros (porosidade, diâmetro, densidade de poros, etc.), podendo apresentar maior ou menor vazão.

A montagem do piloto foi realizada utilizando parafusos, que prenderam o elemento filtrante de madeira a peça metálica na parte superior e ao anel metálico na parte inferior (item 7). Entre a peça metálica da parte superior e o elemento filtrante de madeira, foi inserido o anel de borracha (item 4) para ser comprimido evitando assim vazamentos. Ressalta-se que mesmo com este anel de borracha, devido à irregularidade da superfície da madeira, foi inevitável a colocação de silicone (Figura 24).

Figura 24 – Anel de borracha e vedação com silicone



A madeira é um material anisotrópico (possui variação de suas características dependendo do sentido que é avaliada – disposição das fibras) assim a execução de uma boa vedação torna-se apreciável. Para que isso acontecesse, foi necessária na parte interna do piloto a aplicação de uma camada de silicone em pasta no contato entre a madeira e a peça metálica (Figura 25).

Figura 25 – Vedação interna com silicone



3.1.1.1 Preparação do Elemento Filtrante de Madeira

A construção do elemento filtrante deve levar em consideração sua espessura aliada a sua resistência; isto é, a madeira deverá ter uma espessura mínima para promover a resistência necessária à execução da filtração. Quanto menor a espessura menos resistente é a madeira, por outro lado quanto maior a espessura da madeira maior a dificuldade de passagem da água através da mesma.

Primeiramente foi necessário realizar o corte da madeira de modo que a mesma pudesse ser adaptada ao filtro piloto. Assim, o tronco foi cortado transversalmente as fibras.

A madeira utilizada na pesquisa (Figura 26) tinha aproximadamente doze anos e foi cortada oito meses antes dos ensaios. A mesma foi extraída da região do Alto Vale do Itajaí. A parte a ser cortada e posteriormente utilizada para os ensaio de filtração foi escolhida evitando os locais onde existiam nós, visto que poderiam interferir na filtração, devido à mudança no sentido das fibras.

Figura 26 – Tronco da madeira caixeta em laboratório



Primeiramente foi realizado corte na madeira, que resultou em uma espessura de 7 centímetros (Figura 27).

Para evitar novas rachaduras ou o aumento das existentes foram fixadas duas cintas metálicas de 1,5 cm presas por parafusos, o que evitaria as deformações radiais. Os vazamentos provocados por rachaduras menores foram evitados com a utilização de silicone.

Figura 27 – Filtro piloto com elemento filtrante de 7 cm de espessura.



Utilizando a madeira anterior foi realizado um novo corte, com o intuito de reduzir a espessura da madeira de 7 para 3,5 cm, e conseqüentemente, reduzir a perda de carga. A cinta metálica foi mantida para evitar a deformação do elemento filtrante. Assim foram obtidos dois elementos filtrantes, de 3,5 cm, envolvidos por cinta metálica.

Com o intuito de evitar a contaminação por microorganismos, ou outras substâncias que poderiam influenciar na qualidade da água, e para acelerar o processo de secagem da madeira, o elemento filtrante que seria usado para os ensaios de filtração foi colocado em estufa. Porém a cinta metálica em alta temperatura deformou e não conteve a deformação da madeira, que sofreu rachaduras e não pode ser utilizada para novos testes de filtração (Figura 28). Visto que, o elemento filtrante não poderia mais ser fixado no sistema piloto, pois ocasionaria vazamentos.

Figura 28 – Elemento filtrante com rachadura devido à secagem em estufa



Novos ensaios foram realizados utilizando o elemento filtrante restante do corte da madeira de 7 cm, ou seja, a madeira possuía 3,5 cm e ainda estava presa pela cinta metálica (Figura 29), porém a estufa não foi mais utilizada para secar a madeira, assim a limpeza com hipoclorito de sódio contribuiu para sua desinfecção, evitando a contaminação por microorganismos.

Figura 29 – Filtro piloto com elemento filtrante de 3,5 cm de espessura



Para reduzir mais ainda a perda de carga, mas evitando a redução da espessura e consequentemente a perda da resistência, foram realizados na madeira, 35 furos de 12 mm de diâmetro, com 1,5 cm de profundidade (Figura 30), ou seja, nos locais onde os furos foram realizados o elemento filtrante passou a ter uma espessura de 2 cm. Devido à realização dos furos e a tendência da água em passar por caminhos preferenciais, provavelmente haveria redução da superfície filtrante, ou seja, no início da filtração o escoamento ocorreria apenas nos locais de menor espessura.

Mesmo com a utilização da cinta metálica houve casos de rachaduras, as que eram visíveis, foram vedadas utilizando silicone, evitando vazamentos e interferências na qualidade da água permeada, de modo a garantir a passagem de água pelos poros da madeira.

Figura 30 – Elemento filtrante com 3,5 cm de espessura, com furos resultando em espessura 2 cm



3.2 LIMPEZA E DESINFECÇÃO DA MADEIRA

Para limpeza e desinfecção da madeira (*Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC) foram realizados três procedimentos de modo a diminuir sua coloração, e realizar a desinfecção da madeira.

O procedimento de limpeza foi realizado da mesma maneira que a filtração, sendo que ao invés de água bruta foi utilizada a solução de limpeza.

O primeiro procedimento de limpeza foi realizado com o elemento filtrante de 7 cm e 3,5 cm sem os furos, utilizando água de torneira.

No caso da madeira de 3,5 cm, com o intuito de aumentar o fluxo e reduzir a cor do permeado utilizou-se uma solução de hipoclorito de sódio (obtido comercialmente, em supermercado) a 10 % (1 L de hipoclorito de sódio em 9 L de água), o que poderia colaborar também para a desobstrução dos poros. Esta solução foi também utilizada na madeira que continha os furos, ou seja, continha 2 cm de espessura.

Com a intenção de acelerar o processo de descoloração e desobstrução dos poros, posteriormente utilizou-se uma solução diluída de hipoclorito de sódio (obtido comercialmente, em supermercado) a 60% (6 L de hipoclorito de sódio em 4 L de água), também na madeira que continha os furos.

Outra tentativa de limpeza/descoloração da madeira foi realizada da seguinte maneira, o filtro piloto foi completado com a última solução preparada com hipoclorito que ficou em contato com a superfície da madeira por um período de 3 dias, na tentativa de acelerar ainda mais o processo de limpeza, descoloração e desinfecção da madeira, e de modo a não sobrecarregar a bomba com várias horas de funcionamento. Após o período citado, foi realizado novo procedimento de limpeza da madeira, com a solução a 60% de hipoclorito e sódio, da mesma forma que era realizada a filtração e na sequência, foram realizados os ensaios de filtração que serão detalhados a seguir.

3.3 ENSAIOS DE FILTRAÇÃO TANGENCIAL HELICOIDAL

Para os ensaios de filtração tangencial helicoidal foi realizada a preparação da água bruta, misturando água de torneira e argila, sendo que a argila foi adicionada até que a água alcançasse os parâmetros pré-determinados para os ensaios. Buscou-se produzir uma água bruta com 40 unidades de PtCo e 6 Unidades de Turbidez. Os ensaios de filtração

foram realizados com o elementos filtrantes de 2 cm de espessura, com furos.

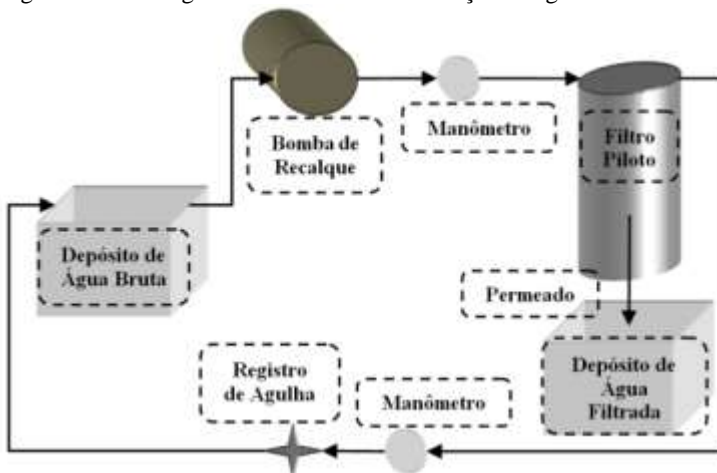
A pressão de trabalho do ensaio foi delimitada pela potência máxima da bomba de recalque, a pressão na entrada do filtro piloto era de 60 psi e na saída de 50 psi.

A seguir será apresentado o passo a passo as ações para realizar o ensaio de filtração:

- 1- Verificação do fechamento das conexões;
- 2- Enchimento do reservatório de água bruta;
- 3- Abertura do registro de agulha;
- 4- Acionamento da bomba de recalque;
- 5- Fechamento do registro de agulha até a iminência do desligamento da bomba;
- 6- Coleta do permeado armazenado na caixa de água filtrada, de 30 em 30 minutos, até alcançar o tempo delimitado para término do ensaio (2,5 hrs);
- 7- Abertura do registro de agulha;
- 8- Desligamento da bomba.

O trajeto da água no sistema piloto, iniciando pela caixa d'água de água bruta, terá como base o seguinte funcionamento apresentado na Figura 31, quando em operação:

Figura 31 – Fluxograma do Processo de Filtração Tangencial Helicoidal



3.3.1 Equipamentos

A caracterização da água bruta e filtrada foi realizada através das análises de: cor, turbidez, PH, sólidos totais dissolvidos e condutividade, sendo que todos os aparelhos utilizados nessas análises foram previamente calibrados. Além disso, foram realizadas medições das seguintes variáveis: volume de água tratada, pressão do sistema e tempo de filtração. Para posterior cálculo de taxa de filtração e elaboração de gráficos e planilhas correlatos.

Para isso foram utilizados os seguintes equipamentos (Figura 32):

- Orion pH meter-PerpHect LogR, model 330;

O pHmetro foi calibrado com soluções de pH 4 e pH 7, sendo que esse foi o intervalo esperado nas análises.

- Espectrofotômetro portátil Hach DR 2800;

O espectrofotômetro foi utilizado para determinação da cor aparente pelo método 8.025, em unidades de Platina Cobalto (faixa de medição do equipamento é de 15 a 500 unidades de Pt-Co). A calibração do equipamento foi realizada com água ultrapura.

- Turbidímetro 2100P Hach;

O turbidímetro utilizado possui faixa de medição de 0 a 100 UT (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

- Pocket Pal STD Tester Hach

A análise de sólidos totais dissolvidos (STD) foi realizada utilizando um teste portátil. O aparelho possui faixa de medição de 0 a 9.999 ppm.

Para obtenção da condutividade (C) a partir do valor de sólidos totais dissolvidos (STV) adotou-se a partir de pesquisa bibliográfica (APHA) a seguinte equação:

$$C = 2 . STD$$

Figura 32- PHmetro Orion (1), Espectrofotômetro Hach (2), Turbidímetro Hach (3) e Teste de STD Hach (4) em laboratório



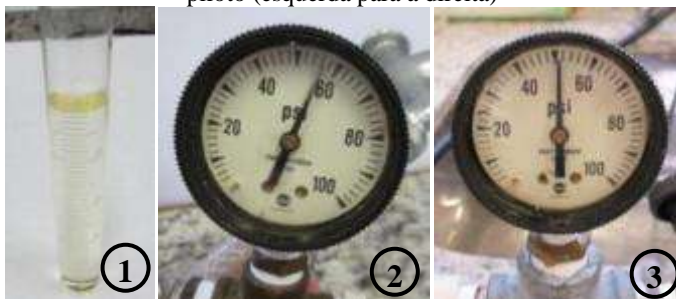
- Proveta (Figura 33)

Para determinação do volume filtrado foram utilizadas provetas com capacidade para 50 mL.

- Manômetro (Figura 33)

Os manômetros foram utilizados para determinar a perda de carga no sistema de filtração, sendo que esta perda é determinada pela diferença entre a pressão de entrada e de saída do filtro piloto. No ensaio a seguir a pressão de entrada foi de aproximadamente 60 psi¹, visto que o manômetro sofria oscilações, e na saída 50 psi, resultando em uma perda de carga de 10 psi.

Figura 33 – Proveta, manômetro de entrada e manômetro de saída do filtro piloto (esquerda para a direita)



3.3.2 Coleta de Dados

No início dos ensaios era realizada a caracterização da água bruta e posteriormente a cada 30 minutos era realizada a coleta de amostras da água filtrada para caracterização. Todas as análises foram realizadas em triplicata, e conforme as metodologias apresentadas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

3.3.3 Determinação da Taxa de Filtração

Para determinação da taxa de filtração é necessário primeiramente calcular a área de filtração. No caso desta pesquisa, a área de filtração do elemento filtrante com 7 e 3,5 cm de espessura será a mesma para ambos, e será calculada a partir do diâmetro da superfície

¹ Para conversão de unidades, cada 1 psi representa 0,7 mca.

da madeira que media 11 cm, resultando em uma área de filtração de 95,03 cm².

Devido ao fato de o escoamento não ter sido expressivo nos ensaios realizados com as madeiras citadas anteriormente, não será realizado o cálculo da taxa de filtração para estas espessuras.

Para a madeira com os furos a área de filtração foi calculada determinando a área da circunferência de cada furo realizado na madeira, a partir do diâmetro da broca utilizada. Com isso é necessário realizar o somatório da área dos furos, obtendo-se desta forma a área de filtração do elemento filtrante.

Para o elemento filtrante que possuía os furos o cálculo foi realizado da seguinte maneira. A madeira possuía 35 furos de 12 mm de diâmetro, calculando a área da circunferência tem-se que cada furo possui uma área de 113 mm², resultando em uma área útil total para filtração de 3955 mm², ou 39,55 cm².

Durante a realização dos ensaios de limpeza, constatou-se que a tendência da água de passar por caminhos preferenciais não se confirmou, ou seja, a água passava tanto pelos locais dos furos como nos locais onde a espessura era maior. Desta forma, para simplificar o cálculo da taxa de filtração, a área filtrante foi considerada a área total da superfície filtrante da madeira, 95,03 cm², diferentemente do que se esperava. Esta simplificação foi realizada devido à dificuldade de coletar separadamente a água do local que continha maior, do que apresentava menor espessura, ou seja, maior e menor volume, o que possibilitaria o cálculo da taxa de filtração dos dois locais separadamente.

Desta forma, a vazão média do ensaio 1 foi de 0,046 L/h e a taxa de filtração foi de 4,8 L/m².h. Já no ensaio 2 a vazão média foi de 0,202 L/h e a taxa de filtração foi de 21,31 L/m².h.

3.4 MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA

Para realização do MEV foram feitas amostras da madeira utilizada nos ensaios de filtração em diferentes profundidades, para verificar qual foi o alcance da colmatação.

As amostras foram cortadas em cubos com estilete bem afiado (Figura 34), de modo que houvesse na medida do possível a fratura e não o corte da amostra, visto que o corte causaria esmagamento das fibras e consequente fechamento dos poros, impossibilitando a visualização dos mesmos.

Figura 34 – Corte das amostras para microscopia com estilete



Fonte: EMMENDOERFER (não publicado)

As amostras de madeira foram cortadas de modo que possuísem superfície de duas profundidades diferentes, para acelerar o processo de visualização no laboratório de microscopia e reduzir o número de amostras. Assim foram obtidas 2 amostras, sendo que cada uma possuía parte da superfície filtrante da madeira e parte com profundidade de 0,5 cm, como pode ser observado na Figura 35, sendo que as amostras foram retiradas de locais diferentes da madeira, uma no centro e outra na periferia do elemento filtrante.

Figura 35 – Amostras para realização do MEV contendo duas profundidades (0,0 cm e 0,5 cm)



Posteriormente ao corte, as amostras foram secas em estufa e colocadas em vidros vedados contendo sílica, de modo a manter as mesmas totalmente livres de umidade.

Já no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME – UFSC) as amostras foram marcadas e recobertas com ouro para posterior realização do procedimento de microscopia.

4 RESULTADOS

A coloração existente na madeira pode ter ocorrido devido aos efeitos do tempo, de temperatura e umidade, visto que o primeiro corte da madeira apresentou coloração clara e posteriormente a madeira escureceu, como pode ser visto na Figura 36. É importante ressaltar que a madeira ficou em local sem a incidência direta de luz solar, dentro do ambiente de laboratório. Desta forma, a coloração adquirida pela madeira pode ser resultado da oxidação de alguma substância presente na mesma pelos gases atmosféricos.

Outro motivo pelo qual a madeira pode ter sofrido mudança de cor é que a mesma ainda não se encontrava totalmente seca no momento do corte realizado para construção dos primeiros elementos filtrantes usados por EMMENDOERFER (não publicado), desta forma esta umidade pode ter influenciado no escurecimento da madeira.

Figura 36 – Madeira imediatamente após o corte (esquerda), oito meses após o corte (direita).



Limpeza do Elemento Filtrante

Após o corte do tronco, foi realizado o primeiro ensaio de limpeza com água da torneira, com a madeira de 7 cm de espessura que mostrou apenas formação de bolhas como permeado, evidenciando a dificuldade de escoamento através da madeira, como pode ser observado na Figura 37, com isso optou-se por reduzir a perda de carga, diminuindo a espessura do elemento filtrante.

Figura 37 – Ensaio com elemento filtrante com 7 cm de espessura



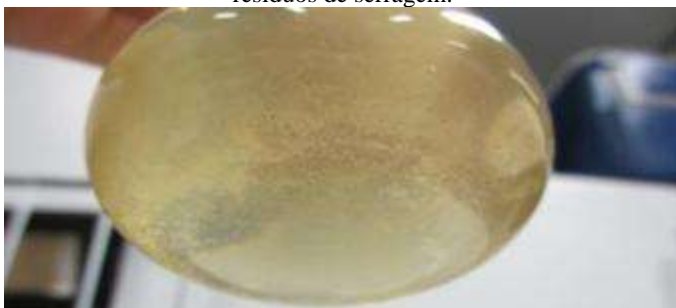
Posteriormente ao corte, com a espessura da madeira reduzida pela metade ficando com 3,5 cm foi realizado outro ensaio de limpeza com água da torneira. Percebeu-se que houve escoamento, entretanto com baixo volume de água permeada (10 mL/h); além disso, a madeira estava provocando coloração na água e, da mesma maneira que o ensaio anterior foram observadas bolhas de ar (Figura 38), indicando a necessidade de reduzir a espessura e limpar e descolorir a madeira.

Figura 38 – Ensaio com elemento filtrante de 3,5 cm de espessura



No permeado, ainda durante o ensaio de limpeza com água da torneira, com a madeira de 3,5 cm, percebeu-se a presença de resíduos provenientes da serragem, como pode ser observado na Figura 39. Isso ocorreu provavelmente devido ao procedimento de corte realizado na madeira, mesmo com limpeza prévia do elemento filtrante com água corrente, observou-se que tais partículas possivelmente tenham ficado em cavidades internas da madeira, e só foram expulsas após o início do processo de filtração.

Figura 39 – Amostra de permeado na madeira de 3,5 cm de espessura contendo resíduos de serragem.



A fim de otimizar a produção de água, foram realizados os furos na madeira (Figura 40) de modo a reduzir a espessura e consequentemente a perda de carga, facilitando a passagem da água pelo elemento filtrante.

Figura 40 – Início do processo de filtração na madeira perfurada



Neste momento constatou-se que a tendência da água de passar por caminhos preferenciais não se confirmou, ou seja, a água passava tanto pelos locais dos furos como nos locais onde a espessura era maior.

Iniciando o procedimento de limpeza, utilizando a solução de hipoclorito a 10 % percebeu-se melhoria na coloração da água e aumento do escoamento, porém, quando eram realizados testes com água da torneira após determinado período a coloração da água começava a escurecer novamente. Para explicar este fenômeno foram levantadas as seguintes hipóteses: a ação do hipoclorito poderia estar descolorindo a madeira, e desta forma carreando as substâncias que

estavam aderidas na madeira com a passagem da solução; ou descolorindo a própria água pela oxidação das substâncias dissolvidas que provocavam a cor, explicando o retorno da coloração quando a solução de limpeza era trocada pela água do sistema de abastecimento público. Além disso, como se pode perceber na Figura 41, alguns dos furos estavam iniciando o processo de limpeza, ou seja, para clareamento total da madeira ainda era necessário dar continuidade ao processo.

Figura 41 – Coloração da madeira pós-limpeza com hipoclorito 10%



Ainda como forma de acelerar o processo de limpeza e descoloração da madeira foi utilizada a solução de hipoclorito a 60%. Primeiramente o processo foi realizado com a mesma metodologia da filtração tangencial helicoidal, porém para não sobrecarregar a bomba, por varias horas de funcionamento, o sistema foi desligado e o filtro piloto foi completado com a solução de limpeza de hipoclorito citada anteriormente de modo que a mesma ficasse em contato com a superfície filtrante da madeira durante três dias.

Posteriormente realizou-se, mais uma vez, o processo de filtração com a solução de hipoclorito de sódio a 60 % visando realizar este procedimento pela ultima vez e posteriormente realizar os testes de filtração com água preparada.

Para verificar o andamento do processo de limpeza e descoloração da madeira, eram realizados ensaios com água do sistema público de abastecimento no intervalo entre um procedimento de limpeza e outro. Assim esperava-se que fosse possível estimar o tempo de limpeza, ou verificar o término do processo através da comparação das amostras, para posteriormente iniciar os ensaios de filtração. Para isso, as amostras eram fotografadas, possibilitando uma análise qualitativa do permeado, visto que os valores de cor aparente

ultrapassavam a faixa de funcionamento do aparelho, essas imagens se encontram resumidas na Tabela 5.

Tabela 5 – Processo de limpeza da madeira caixeta

Ensaio	Água Bruta	Volume Filtrado (mL)	Tempo de Filtração (h)	Vazão (mL/h)	Qualificação do Permeado
Teste 1	Água Torneira	150	1,0	150,0	
Teste 2	Clorada 10 %	150	1,0	150,0	
Teste 3	Clorada 10 %	110	0,5	220,0	
Teste 4	Água Torneira	74	0,3	296,0	
Teste 5	Clorada 10 %	140	0,5	280,0	
Teste 6	Clorada 10 %	94	0,3	282,0	
Teste 7	Clorada 10 %	85	0,3	255,0	
Teste 8	Água Torneira	80	0,5	160,0	
Teste 9	Água Torneira	250	1,6	158,2	
Teste 10	Água Torneira	350	2,5	140,0	
Teste 11	Água Torneira	245	3,5	70,0	
Teste 12	Água Torneira	275	3,7	74,9	
Teste 13	Clorada 60%	135	0,5	270,0	
Teste 14	Clorada 60%	120	0,5	240,0	
Teste 15	Clorada 60%	445	3,8	116,1	

Como pode ser observado nas ultimas linhas da Tabela 5 a limpeza com hipoclorito a 60% aparentemente surtiu os efeitos desejados. Porém ao realizar o processo de limpeza pela ultima (teste 15) vez foi possível perceber a fragilização da madeira devido ao descolamento das fibras pela ação do hipoclorito, desconfigurando-a. A perda da resistência da madeira juntamente com a pressão exercida pela bomba causaram o rompimento do elemento filtrante provocando um furo (Figura 42) na madeira, não sendo viável a continuação dos testes.

Figura 42 – Degradação da superfície filtrante da madeira (1), vista inferior do sistema piloto contendo furo (2) e fragmento de madeira descolado proveniente do furo (3).



Neste momento o procedimento de descoloração da madeira foi interrompido. Porém como se pode observar na Figura 43, a madeira seca possui coloração bastante clara, o que indica aparentemente que a descoloração da madeira foi efetiva. Percebe-se também que a madeira não foi descolorida totalmente, ou seja, o processo de descoloração foi interrompido precocemente, por outro lado, devido a sua fragilização, não era possível dar continuidade ao mesmo.

Figura 43 – Coloração da madeira pós-limpeza com hipoclorito 60%, madeira úmida (esquerda) e seca (direita)



Ensaios de Filtração Tangencial Helicoidal

Devido a esse rompimento foi necessário interromper o procedimento de limpeza e inserir um parafuso no local, utilizando também uma borracha e silicone para vedação e estanqueidade do sistema (Figura 44), possibilitando iniciar os ensaios de filtração sem o vazamento de água bruta pelo furo.

Figura 44 – Vedação do furo na madeira com parafuso e silicone.



O procedimento de filtração tangencial em bancada deveria ser realizado com a recirculação não só do concentrado, como também do permeado, o que resultaria em menor variação das características da água bruta, possibilitando a comparação dos parâmetros do permeado e concentrado. Porém, devido à água permeada apresentar parâmetros piores que os medidos na água bruta, este procedimento não foi realizado, pois, ao invés de evitar grandes mudanças na qualidade da água bruta e diluir o concentrado, ocorreria o efeito contrário, a água bruta teria seus parâmetros piorados devido à mistura com a água permeada, que apresentava pior qualidade em comparação com a água bruta.

No início dos procedimentos de filtração eram realizadas análises da qualidade da água bruta, resultante da mistura da água do sistema de abastecimento público com argila, e durante o procedimento de filtração caracterizava-se a água permeada através do elemento filtrante, os resultados destas análises são apresentados nas Tabela 6 e Tabela 7.

Além disso, as tabelas citadas apresentam o cálculo da taxa de filtração média de cada ensaio, o cálculo diferenciado para cada ensaio foi necessário devido à madeira já estar em processo de degradação, o que ocasionou diferenças de volume e consequentemente de taxa entre o ensaio 1 e 2. Quanto à taxa de filtração a mesma foi calculada dividindo a vazão média de permeado, obtida em cada ensaio, pela área filtrante, sendo a área filtrante a área de toda a superfície da madeira. Esse método foi utilizado devido à constatação de que a área que contribuía para filtração da água era a área total da superfície da madeira em contato com a água bruta conforme já citado anteriormente.

Os ensaios de filtração tangencial helicoidal foram realizados com uma diferença entre o estado inicial dos elementos filtrantes, no primeiro o elemento filtrante estava seco. E no segundo ensaio o elemento filtrante foi umedecido previamente, além do aumento da fragilização da madeira a cada ensaio. Como resultado observou-se redução da perda de carga causada pelo descolamento das fibras, explicando o aumento de volume de permeado e da taxa de filtração do primeiro para o segundo ensaio.

Tabela 6 – Resultados das análises de qualidade da água ensaio 1 (madeira seca).

Ensaio de Filtração 1		Tempo de cada teste 30 min				
		Caracterização do Permeado				
Parâmetros \Análises	Água Bruta	1	2	3	4	5
Cor (Uh-PtCo)	40	*	*	*	*	*
Turbidez (NTU)	5,88	38,3	35,5	17	14,9	16
pH	6,49	6,42	6,24	6,09	5,94	5,98
STD (ppm)	34	1473	*	*	*	*
Condutividade ($\mu S/cm$)	68	2946	*	*	*	*
Volume (mL)	-	20	22	25	24	23
Vazão média (L/h)	0,046	Taxa de filtração (L/m ² .h)				
						4,8

* As análises destes parâmetros ultrapassaram a faixa de medição dos instrumentos.

Tabela 7 - Resultados das análises de qualidade da água ensaio 2 (madeira previamente úmida).

Ensaio de Filtração 2		tempo de cada teste 30 min				
		Caracterização do Permeado				
Parâmetros \Análises	Água Bruta	1	2	3	4	5
Cor (Uh-PtCo)	42	*	*	*	*	*
Turbidez (NTU)	6,25	34,8	21,8	26,2	32,2	29,5
pH	7,09	6,92	6,82	6,74	6,63	6,64
STD (ppm)	33	741	1098	1410	1159	1214
Condutividade ($\mu S/cm$)	66	1482	2196	2820	2318	2428
Volume (mL)	-	172	97	67	75	95
Vazão média (L/h)	0,202	Taxa de filtração (L/m ² .h)				
						21,31

* As análises destes parâmetros ultrapassaram a faixa de medição dos instrumentos.

Como pode ser observado, na Tabela 6 e Tabela 7, o processo de limpeza não foi suficiente para diminuir o valor do parâmetro de cor aparente no permeado, o que pode ser confirmado na Figura 45. Em nenhum dos parâmetros analisados houve melhoria da qualidade da água.

Figura 45 – Amostra de permeado do ensaio 1.



Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Após a realização dos testes de filtração foi realizada a preparação do elemento filtrante para obtenção das imagens de MEV, para preparação das amostras o elemento filtrante foi seco em temperatura ambiente, neste momento foi possível observar com clareza a fragilização da madeira que ocorreu provavelmente devido à alta concentração da solução de hipoclorito de sódio usada na limpeza (Figura 46).

Figura 46 - Degradação da madeira devido à ação do hipoclorito

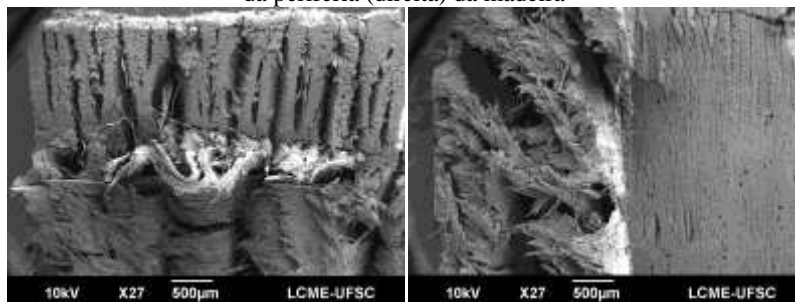


A diferença, percebida entre as duas imagens de MEV apresentadas na Figura 47, refere-se principalmente ao estágio de degradação da madeira, em que a imagem da esquerda encontra-se mais degradada que a da direita, isso pode ser explicado pelo fato de as amostras terem sido extraídas de locais diferentes do elemento filtrante. Uma amostra foi retirada do centro e outra da periferia da superfície filtrante. A imagem que apresenta menor degradação foi retirada da

periferia e a que possui maior degradação foi retirada da parte central. Esta maior degradação ocorreu provavelmente devido à parte central da madeira ter recebido maior pressão e “atrito pelo fluxo helicoidal”, o que também pode ter levado a madeira ao colapso durante os testes de limpeza.

Na Figura 47 a seguir podem ser observadas duas espessuras da madeira, optou-se por preparar as amostras desta maneira para acelerar o processo de observação no laboratório de microscopia eletrônica, e possibilitar a comparação de duas profundidades diferentes em locais próximos. A parte da amostra mais alta é da superfície do elemento filtrante, e a parte mais profunda foi obtida através de um corte a 0,5 cm da superfície.

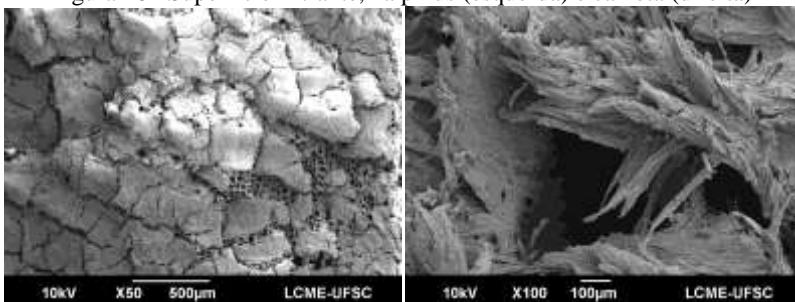
Figura 47 – Amostras da superfície filtrante fragilizada, do centro (esquerda) e da periferia (direita) da madeira



Fonte: LCME – UFSC

Como pode ser constatado ao observar a Figura 48, na imagem da madeira pinus (X50) estudada anteriormente por EMMENDOERFER (não publicado) percebeu-se alto acumulo de partículas na superfície filtrante, o que não pode ser observado na madeira caixeta, mesmo com uma ampliação duas vezes maior (X100). Na imagem da madeira caixeta percebe-se a apenas a alta degradação das suas fibras.

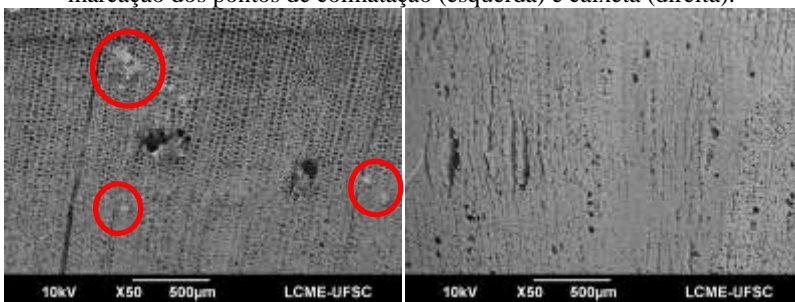
Figura 48– Superfície filtrante, na pinus (esquerda) e caixaeta (direita)



Fonte: LCME – UFSC – por EMMENDOERFER (Esquerda - não publicado)

Da mesma forma pode-se constatar nas imagens referentes à profundidade de 0,5 cm (Figura 49), que a madeira pinus ainda apresenta alguns pontos de colmatção, já na caixaeta não é possível verificar a presença de partículas, ou seja, aparentemente não houve retenção de substâncias na superfície ou no interior do elemento filtrante não havendo melhorias na qualidade da água permeada, explicando os resultados de baixa qualidade da água nos ensaios realizados.

Figura 49– Corte a 5 mm de profundidade da superfície filtrante, na pinus com marcação dos pontos de colmatção (esquerda) e caixaeta (direita).



Fonte: LCME – UFSC - por EMMENDOERFER (Esquerda - não publicado)

5 DISCUSSÕES

Durante toda a pesquisa foi necessário fazer adaptações e ajustes na metodologia de modo a contornar os problemas causados pela instabilidade da madeira. Dentre os problemas podem ser citados os efeitos: da anisotropia, da temperatura e da secagem da madeira.

Primeiramente a impossibilidade de utilizar a estufa para secagem do elemento filtrante resultou no aparecimento de fungos na madeira, devido à mesma permanecer úmida após os ensaios e a secagem ocorrer em temperatura ambiente.

O umedecimento da madeira provocava inchaço na mesma e no momento em que secava a mesma se contraía, ou seja, a madeira passava por vários processos que resultavam em deformações e rachaduras, sendo que estes processos eram inevitáveis. Estes problemas foram contornados com o uso da cinta metálica e do silicone nas rachaduras, que promoveram a vedação do sistema.

A confecção do elemento filtrante foi realizada de modo a manter a resistência da madeira, porém percebeu-se que a espessura da mesma influencia diretamente no fluxo de permeado, desta forma foi necessário reduzir a espessura da madeira, e na medida do possível manter a resistência, realizando os furos até determinada espessura do elemento filtrante. Esse método se mostrou interessante para aumentar o fluxo de permeado, e manteve a resistência do elemento filtrante, como esperado.

Como foi abordado anteriormente, a madeira no momento do corte apresentava coloração bastante clara, sendo conveniente para a filtração, porém após determinado tempo, ao secar ocorreu o aparecimento da cor. Ou seja, a escolha da madeira para filtração deve ser realizada após sua estabilização, desta forma as variações de cor e o aparecimento de rachaduras seriam raros, visto que a madeira já se encontraria estabilizada.

Percebeu-se que a limpeza não foi realizada com a metodologia mais aconselhável, visto que a coloração da madeira ainda podia ser observada, ou seja, o procedimento de limpeza foi interrompido precocemente. Porém a interrupção da limpeza ocorreu devido ao risco de perda da amostra de madeira que já se encontrava bastante fragilizada. Aconselha que novos testes sejam realizados com a concentração de hipoclorito de sódio a 10 %, e em adição recomenda-se que a solução a 60 % de hipoclorito de sódio seja descartada devido à alta degradação da madeira observada nesta concentração.

Apesar do furo causado pelo hipoclorito, aparentemente boa parte da coloração da madeira foi retirada, assim percebe-se que o hipoclorito

pode ser usado para descoloração da madeira. Além da descoloração, foi possível observar aumento de fluxo pela madeira, possivelmente devido ao carreamento de substâncias, com a passagem do hipoclorito, que poderiam estar impedindo o fluxo de permeado. Porém, esse processo deve ser feito com solução de limpeza com menor concentração, o que resultaria em maior tempo de limpeza para obtenção de bons resultados de coloração.

Os resultados dos ensaios de filtração tangencial helicoidal não apresentaram melhoria da qualidade da água tratada, analisando de forma qualitativa. Não é possível afirmar, a não remoção de substâncias pela madeira caixeta, devido ao não controle da água bruta durante o procedimento, sendo que a caracterização da água bruta era realizada apenas no início dos ensaios. A amostra utilizada para realização destes ensaios já estava bastante degradada, o que pode ter causado a não retenção de partículas e a piora da qualidade da água permeada.

A partir da microscopia eletrônica realizada foi possível confirmar os efeitos da ação do hipoclorito sobre a madeira, ou seja, a degradação e descolamento das fibras da madeira foram observados. Além disso foi possível perceber diferença entre a degradação da parte central da amostra e a parte periférica, o que indica que a parte central sofreu mais atrito pelo fluxo helicoidal, se degradando com maior rapidez. Além da degradação da madeira foi possível confirmar a não ocorrência de colmatação, ou seja, não houve retenção de partículas.

Desta forma, a madeira *Tabebuia cassinoides* não se mostrou eficiente para uso em sistemas de filtração tangencial helicoidal, visto que a mesma não obteve melhoria da qualidade da água permeada durante a filtração, além de ter adicionado cor ao permeado desde os primeiros ensaios e ter apresentado baixo fluxo de água filtrada.

6 CONCLUSÕES

O processo de limpeza e desinfecção com hipoclorito de sódio foi realizado, porém houve consequências negativas, afetando as características da madeira, enfraquecendo-a, impossibilitando a continuação dos ensaios sem a realização de reparos no elemento filtrante. Desta forma, não é possível afirmar que o hipoclorito de sódio não pode ser utilizado para descoloração da madeira, porém a solução a 60 % não deve ser usada devido à alta degradação da madeira.

Os ensaios de filtração por escoamento tangencial helicoidal foram executados, mas não houve melhoria na qualidade da água filtrada, já que a madeira se encontrava em estágio avançado de degradação, não tendo capacidade de retenção de partículas. Além disso, causou aumento do parâmetro de cor aparente na água permeada.

A microscopia eletrônica de varredura serviu para comparar a madeira utilizada nesta pesquisa com as madeiras estudadas anteriormente. Também através da microscopia foi possível confirmar a desconfiguração e fragilidade da madeira caixeta depois da ação da solução de hipoclorito e confirmar que não houve retenção de partículas na superfície ou no interior da madeira.

A confecção do elemento filtrante ocorreu de forma satisfatória, sendo que houve várias tentativas de se solucionar a baixa qualidade e produção de água alterando a sua espessura; entretanto não se teve êxito. Além disso, é importante realizar processos de limpeza com a solução de hipoclorito a 10 %, visto que esta solução não foi testada até o fim da descoloração da madeira.

Concluiu-se, por fim, que a espécie *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC não demonstrou eficiência nem eficácia como elemento filtrante no processo de filtração tangencial helicoidal, não tendo utilidade para esta finalidade.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que sejam realizados outros estudos utilizando a madeira pinus como elemento filtrante, visto que a mesma obteve bons resultados na filtração frontal e tangencial. Porém, utilizando outros modelos de sistema piloto, de modo a facilitar a substituição do elemento filtrante, montagem e desmontagem do mesmo.

Algumas possibilidades idealizadas após a pesquisa são:

- 1) Troca do encaixe do elemento filtrante, construindo uma espécie de gaveta com parede externa em aço inox e parede interna revestida com borracha, garantindo a vedação do filtro piloto. Assim o elemento filtrante deve ser inserido na gaveta com compressão da borracha, esta gaveta devesse conter uma tampa, de modo que as únicas aberturas existam na parte superior e inferior do elemento filtrante.
- 2) Outra possibilidade é realizar a construção do elemento filtrante em formato cônico, similar a membrana tubular, já que desta forma os poros terão menor profundidade, o que proporcionaria maior fluxo de permeado.

Em futuras pesquisas pode se abordar a possibilidade de redução da espessura da madeira, lembrando que devem ser tomadas precauções para evitar a perda da resistência da mesma. Além disso, é importante verificar outras formas de tratamento e preservação da madeira, que não interfiram na qualidade da água de modo a evitar o ataque por fungos e o aparecimento de rachaduras

Já que a madeira caixeta apresentou bons resultados na filtração frontal, e a pinus bons resultados tanto na filtração frontal quanto na helicoidal, torna-se interessante realizar outros testes com madeiras similares, em diâmetro e densidade de poros, de modo a verificar se esses fatores realmente influenciam na eficiência do tratamento da água.

Em pesquisas futuras é interessante realizar testes com mais de uma amostra da mesma madeira, de modo a realizar levantamento estatístico dos dados dando maior consistência ao estudo. Além disso, isso preveniria problemas como o que ocorreu no trabalho atual, onde houve fragilização da madeira, e não foi possível refazer os testes, devido à falta de outras amostras. Além disso, é muito importante que seja realizada a caracterização da água bruta não

apenas no início dos ensaios, mas também durante os mesmos. Isso possibilitaria a comparação da qualidade do permeado com a qualidade da água bruta no momento da coleta de ambas as amostras, visto que a qualidade da água bruta é modificada no decorrer do processo de filtração devido à entrada do concentrado na caixa de água bruta.

Como foi observado na pesquisa atual, a madeira interfere diretamente na qualidade da água permeada, assim mostra-se importante para realização de futuras pesquisas, um estudo mais aprofundado da espécie a ser utilizada para os ensaios, evitando a escolha de espécies que sofram grandes deformações e possuam características que possam interferir negativamente na qualidade da água filtrada.

A limpeza da madeira como já citado anteriormente é um procedimento aconselhável, desta forma deve-se estudar de maneira mais aprofundada as formas de descoloração da madeira, sem que a mesma seja fragilizada pela ação de substâncias agressivas. Algumas das substâncias pesquisadas em bibliografias neste trabalho foram a aplicação de ácido oxálico ou solução de peróxido de hidrogênio (OLIVEIRA, 2008).

A realização de MEV na pesquisa de EMMENDOERFER (não publicado) e na pesquisa atual mostrou-se uma boa maneira de conhecer as características da madeira estudada e da situação da mesma após os ensaios. Desta forma, recomenda-se que caso sejam pesquisadas outras espécies de madeira, a microscopia eletrônica de varredura seja realizada antes e após os testes de filtração, o que possibilitaria a comparação com as espécies já estudadas.

REFERÊNCIAS

AHMAD, A. L.; MARIADAS, A.; ZULKALI, M. M. D. **Reduction of membrane fouling using a helical baffle for cross flow microfiltration.** Disponível em: <<http://eprints.utm.my/982/>>. Acesso em: 04 jun. 2013.

AMARAL, L. A. et al. **Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais.** Revista de Saúde Pública, São Paulo, vol. 37, n. 4, 510-14, 2003.

AMARAL, P. A.. **Utilização da Flotação por Ar Dissolvido associada a Microfiltração para remoção de Cianobactérias em Águas de Abastecimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

APHA/AWWA/WEF. EATON, A.D (2005).; et al. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21^a ed. Washington: American Public Health Association.

ARAUJO FILHO, A. R.; SENS, M. L.; PASCHOALATO, C. F. P. R.; DALSASSO, R. L.; DANTAS, A. B.; BERNARDO, L. **Remoção de Microrganismos Emergentes e Microcontaminantes Orgânicos no Tratamento de Água para Consumo Humano.** 1^a ed. Rio de Janeiro: ABES, v. 1, p. 209, 2009.

BASSETTI, F. J. **Preparação, caracterização e aplicação de membranas poliméricas microporosas assimétricas.** Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. 180p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 06, de 23 de setembro de 2008 . Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 de setembro de 2008.

BRISOLARI, A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato e de permeabilidade.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-17062009-145256/>>. Acesso em: 30-09-2012

CARRERA, U. S. **Variação intra-específica na anatomia da folha e do lenho de *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC. (Bignoniaceae) em ambientes distintos.** Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Escola Nacional de Botânica Tropical. Rio de Janeiro, 2008.

CORRÊA, E. **Filtração de água em membranas de madeira.** Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

COSTIGAN, G.; BELLHOUSE, B.J; PICARD, C. **Flux enhancement in microfiltration by corkscrew vortices formed in helical flow passages.** Journal Of Membrane Science, [s.i.], v. 206, p.179-188, 31 ago. 2002. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738801007803>>. Acesso em: 04 jun. 2013.

DIAS, H. C. T.; PINHEIRO, J. A. C.; VILAR, M. B.; COSTA, A. A. da; RAMOS, J. G. de A.; CAIAFA, K. F.; SOUZA, F. C. de. **Cuidados Ambientais e a Qualidade da Madeira.** Revista da Madeira, v. 1, p. 24-28, 2006

DUTKA, J. M. **Membrane Filtration: Applications, Techniques and Problems.** New York, Basel, M. Dekker. 1981.

EMMENDOERFER, M. L. **Filtração de Água em Madeira com Escoamento Tangencial Helicoidal.** Relatório de Pesquisa – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. [2013]. Não publicado.

FUNASA. **Manual de Saneamento.** 3º ed. rev. – Brasília: Ministério da Saúde - Fundação Nacional de Saúde. Brasília. 2006. 408p.

GONZAGA, A. L. **Madeira: Uso e Conservação.** Programa Monumenta – Cadernos Técnicos. Brasília: IPHAN, Monumenta, 2006.

GUPTA, B.B, et al. **A helical baffle for cross-flow microfiltration.** Journal Of Membrane Science, Bath, Reino Unido, v. 102, p.31-42, 15 jun. 1995. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037673889400241P>>.
Acesso em: 04 jun. 2013.

KLOCK U.; MUNIZ G. .I. B.; HERNANDEZ J. A.; ANDRADE A.S.;
Química da Madeira. Apostila. Universidade Federal do Paraná.
Curitiba, 2005

KUNIYOSHI, Y.S. **Aspectos morfo-anatômicos do caule, raiz e folha de *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (Bignoniaceae) em diferentes fazes sucessionais no litoral do Paraná.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas características de madeiras brasileiras.** São Paulo: IPT, 1989.

MIERZWA, J. C.; DA SILVA, M. C.; RODRIGUES, L.;
HESPANHOL, I. **Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, n.1, p. 78-87, 2008.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira - Manual Didático.** Curitiba: UFPR, 2005. 124p.

OLIVEIRA, D. M., **Especificações de Elementos Pintados ou Envernizados para Elementos Construtivos Exteriores em Madeira,** Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

OLIVEIRA, T. F. de. **Tratamento de água para abastecimento público por sistema de separação por membrana de ultrafiltração: estudo de caso na ETA Alto da Boa Vista (São Paulo, SP).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-16082010-145800/>>. Acesso em: 12-09-2012

RICHTER, C. A., AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Tratamento de água: Tecnologia atualizada.** São Paulo: Edgar Blücher Ltda., 1991.

SCHNEIDER, RP; TSUTIYA, MT. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2001. 234p.

SILVA, M. R. da. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas.** Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia de Materiais) – Faculdade de Ciências e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

VON SPERLING; M. **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos – Vol.1.** Belo Horizonte, 3ª ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2005. 452 p.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G.C.T. **Identificação macroscópica de madeiras.** IPT, 2007.

APÊNDICE

Tabela 8 – Peças para construção do sistema piloto de filtração tangencial helicoidal

Peças	Quantidades
Caixas d'água de Teflon 20L	2 unidades
Tubulação de PEAD Ø 10mm	5 metros
Conexões/Adaptadores/Reduções para as mangueiras em plástico reforçado	14 unidades
Manômetro	2
Registro regulador de vazão tipo agulha	1
Bomba de pressão positiva de ¼ CV com rotor em carbono e revestimento em teflon	1
Filtro	1 (detalhado a parte)

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

Tabela 9 – Peças para construção do filtro piloto de filtração tangencial helicoidal

Peças	Quantidade
Tampa em Nylon	1
Anel de borracha	2
Corpo em inox	1
Elemento filtrante em madeira	1
Parafusos 3,5mm x 8cm	12
Porcas	14
Arruela de pressão	14
Chapa circular em inox com 12 furos	1
Cinta metálica perfurada galvanizada	1m
Parafuso para cinta metálica 3,5mm x 3cm	2